

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1 9 9 9 年 7 月 8 日

出 願 番 号

Application Number:

平成 1 1 年特許願第 1 9 4 0 2 4 号

出 願 人

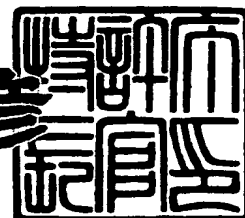
Applicant (s):

日本電気株式会社
住友重機械工業株式会社
アネルパ株式会社

2 0 0 0 年 6 月 9 日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Patent Office

近 藤 隆 彦



出証番号 出証特 2 0 0 0 - 3 0 4 3 1 7 1

【書類名】 特許願

【整理番号】 34803262

【提出日】 平成11年 7月 8日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 29/786

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

 【氏名】 田邊 浩

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県平塚市夕陽ヶ丘 6 3 番 3 0 号 住友重機械工業株式会社 平塚事業所内

 【氏名】 明石 友行

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都府中市四谷五丁目 8 番 1 号 アネルバ株式会社内

 【氏名】 渡部 嘉

【特許出願人】

 【識別番号】 000004237

 【氏名又は名称】 日本電気株式会社

【特許出願人】

 【識別番号】 000002107

 【氏名又は名称】 住友重機械工業株式会社

【特許出願人】

 【識別番号】 000227294

 【氏名又は名称】 アネルバ株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100071272

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 後藤 洋介

【選任した代理人】

【識別番号】 100077838

【弁理士】

【氏名又は名称】 池田 憲保

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 012416

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9001569

【包括委任状番号】 9004613

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体薄膜形成装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光マスク上に形成した複数のパターンを半導体薄膜に投影露光して、半導体薄膜の所定の領域を改質する半導体薄膜形成装置において、露光されるべき光を、上記光マスク上の所定の領域において、該領域内の光の強度分布が該領域内の光の平均強度の $\pm 11.2\%$ 以内の範囲に含まれるように、均一化させる機構を有することを特徴とする半導体薄膜形成装置。

【請求項 2】 光マスク上に形成した露光パターンを、基板ステージに保持された基板上的半導体薄膜に投影露光して、半導体薄膜の所定の領域を改質する半導体薄膜形成装置において、光マスクまたは基板ステージを個別または同時に駆動することにより、露光パターンを順次走査する機構を有することを特徴とする半導体薄膜形成装置。

【請求項 3】 光マスク上に形成した露光パターンを半導体薄膜に投影露光して、半導体薄膜の所定の領域を改質する半導体薄膜形成装置において、露光パターンを半導体薄膜に投影露光する際の、露光パターンの半導体薄膜の前記所定の領域への焦点合わせを行う焦点合わせ機構を有することを特徴とする半導体薄膜形成装置。

【請求項 4】 光マスク上に形成したパターンを半導体薄膜に露光ビームにより投影露光して、半導体薄膜の所定の領域を改質する半導体薄膜形成装置において、露光ビームの半導体薄膜に対する傾きを補正する傾き補正機構を有することを特徴とする半導体薄膜形成装置。

【請求項 5】 光マスク上に形成したパターンを半導体薄膜に露光ビームにより投影露光して、半導体薄膜の所定の領域を改質する半導体薄膜形成装置において、半導体薄膜が堆積された基板上に形成されたマークに対し、露光ビームの位置合わせを行うアライメント機能を有することを特徴とする半導体薄膜形成装置。

【請求項 6】 光マスク上に形成したパターンを半導体薄膜に投影露光して、半導体薄膜の所定の領域を改質する半導体薄膜形成装置において、半導体膜が

堆積された基板をステージ上に保持する機能を有することを特徴とする半導体薄膜形成装置。

【請求項 7】 光マスク上に形成したパターンを半導体薄膜に露光ビームにより投影露光して、半導体薄膜の所定の領域を改質する半導体薄膜形成装置において、複数のレーザ光を前記露光ビームとして合成する合成機構を有することを特徴とする半導体薄膜形成装置。

【請求項 8】 請求項 7 に記載の半導体薄膜形成装置において、前記複数のレーザ光が第 1 および第 2 のレーザ光であり、前記合成機構は、第 1 のレーザ光に対し第 2 のレーザ光が遅延して半導体薄膜に照射されるように、第 1 および第 2 のレーザ光を前記露光ビームとして合成することを特徴とする半導体薄膜形成装置。

【請求項 9】 光マスク上に形成したパターンを基板上の半導体薄膜に投影露光して、半導体薄膜の所定の領域を改質するための処理室を有する半導体薄膜形成装置において、大気に暴露することなく別の処理室に基板を搬送する機構を有することを特徴とする半導体薄膜形成装置。

【請求項 10】 請求項 9 に記載の半導体薄膜形成装置において、前記別の処理室が基板に絶縁膜を形成するための絶縁膜形成室であることを特徴とする半導体薄膜形成装置。

【請求項 11】 請求項 9 に記載の半導体薄膜形成装置において、前記別の処理室が基板に半導体膜を形成するための半導体膜形成室であることを特徴とする半導体薄膜形成装置。

【請求項 12】 請求項 9 に記載の半導体薄膜形成装置において、前記別の処理室が基板に加熱処理を施すための加熱処理室であることを特徴とする半導体薄膜形成装置。

【請求項 13】 請求項 9 に記載の半導体薄膜形成装置において、前記別の処理室が基板にプラズマ処理を施すためのプラズマ処理室であることを特徴とする半導体薄膜形成装置。

【請求項 14】 請求項 9 に記載の半導体薄膜形成装置において、前記処理室が、前記光マスク上に形成したパターンを前記基板上の半導体薄膜にレーザビ

ームにより投影露光して、半導体薄膜の前記所定の領域を改質するためのレーザ処理室であり、前記別の処理室がもう一つのレーザ処理室であることを特徴とする半導体薄膜形成装置。

【請求項 1 5】 請求項 9 ～ 1 3 のいずれかに記載の半導体薄膜形成装置において、前記別の処理室は、該別の処理室内の所定の領域にプラズマを発生させるためのプラズマ発生源を有し、前記別の処理室内の前記所定の領域外の領域に基板が配置されることを特徴とする半導体薄膜形成装置。

【請求項 1 6】 請求項 1 3 に記載の半導体薄膜形成装置において、前記別の処理室は、該別の処理室内の所定の領域にプラズマを発生させるためのプラズマ発生源を有し、前記別の処理室は、前記所定の領域の前記プラズマにより励起されたガスと、前記所定の領域を介さずに前記別の処理室内に導入される別のガスとを反応させることにより、前記基板に前記プラズマ処理を施すものであることを特徴とする半導体薄膜形成装置。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、結晶性シリコン薄膜トランジスタに用いるシリコン薄膜及び電界効果型トランジスタに応用するための良質な半導体-絶縁膜界面を形成する装置に関する。また本発明は、パルスレーザ光を用いたシリコンゲルマニウム (SiGe)、シリコンカーバイド (SiC) 等のシリコン化合物、GaAs、GaN、CuInSe₂、ZnSe 等の化合物半導体等の半導体薄膜の製造装置に関する。さらに本発明は、上記半導体薄膜あるいは電界効果型薄膜トランジスタにより構成されるディスプレイ、センサー等の駆動素子または駆動回路を製造するための装置に関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

ガラス基板上に薄膜トランジスタ (T F T) を形成する代表的な技術として、水素化アモルファスシリコン T F T 技術及び、多結晶シリコン T F T 技術が挙げられる。前者は作製プロセス最高温度 3 0 0 ℃程度であり、移動度 1 cm²/Vsec 程度のキャリア移動度を実現している。この技術は、アクティブマトリクス型 (A

M) 液晶ディスプレイ (LCD) における各画素のスイッチングトランジスタとして用いられ、画面周辺に配置されたドライバー集積回路 (IC、単結晶シリコン基板上に形成された LSI) によって駆動される。各画素毎にスイッチング素子 TFT がついているため、周辺ドライバ回路から液晶駆動用の電気信号を送るパッシブマトリクス型 LCD に比べ、クロストーク等が低減され良好な画像品質を得られるという特徴を有する。一方後者は、例えば石英基板を用い 1000℃ 程度の LSI と類似した高温プロセスを用いることで、キャリア移動度 $30 \sim 100 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$ の性能を得ることができる。このような高いキャリア移動度の実現は、たとえば液晶ディスプレイに応用した場合、各画素を駆動する画素 TFT と同時に、周辺駆動回路部までもが同一ガラス基板上に同時に形成することができるという製造プロセスコストの低減、小型化に関する利点がある。小型化、高解像度化により AM-LCD 基板と周辺ドライバー集積回路の接続ピッチが狭小化し、タブ接続やワイヤボンディング法では対処しきれないからである。ところが、多結晶シリコン TFT 技術において、上述のような高温プロセスを用いる場合、前者のプロセスが用いることができる安価な低軟化点ガラスを用いることができない。そこで多結晶シリコン TFT プロセスの温度低減が必要になっており、レーザ結晶化技術を応用した多結晶シリコン膜の低温形成技術が研究・開発されている。

【0003】

一般に、これらのレーザ結晶化は図 1 に示すような構成のパルスレーザ照射装置により実現される。パルスレーザ光源 1101 から供給されるレーザ光はミラー 1102, 1103, 1105 及び空間的な強度の均一化を行うべく設置されるビームホモジナイザ 1104 等の光学素子群によって規定される光路 1106 を介し、被照射体であるガラス基板 1109 上のシリコン薄膜 1107 に到達する。一般にガラス基板に比べ 1 照射範囲が小さいため、xy ステージ 1109 上のガラス基板を移動させることにより基板上の任意の位置へのレーザ照射が行われている。xy ステージの代わりに、上述の光学素子群を移動させることや、光学素子群とステージを組み合わせる方法も可能である。

【0004】

公知資料 1 J. Im and R. Sposili, Crystalline Si films for integrated active-matrix-liquid-crystal displays”, Materials Research Society Bulletin誌, vol. 21, (1996), 39

本文献内Figure 6に、基板がx-方向ステージに、ホモジナイザがy-方向ステージに載置されることが示されている。

【0 0 0 5】

レーザ照射が真空チャンバ内で真空中あるいは高純度ガス雰囲気下で行われることもある。また、必要に応じてシリコン薄膜付きガラス基板入りカセット 1110 と基板搬送機構 1111 を有し、機械的にカセットとステージ間の基板の取りだし収納を行うこともできる。

【0 0 0 6】

また、短波長パルスレーザ光を照射し非晶質基板上の非晶質シリコン薄膜を結晶化し、薄膜トランジスタに応用する技術が特公平 7 - 1 1 8 4 4 3 号公報に開示されている。本手法によれば基板全体を高温にすることなく非晶質シリコンの結晶化が可能であるため、液晶ディスプレイ等の大面積かつガラス等の安価な基板上への半導体素子、半導体集積回路を作製できるという利点がある。ところが上記公報においても述べられているように、短波長レーザによる非晶質シリコン薄膜の結晶化には $50 - 500 \text{ mJ/cm}^2$ 程度の照射強度が必要である。一方、現在一般に入手できるパルスレーザ装置の発光出力は最大 1 J/pulse 程度であり、単純換算によっても一度に照射できる面積は $2 - 20 \text{ cm}^2$ 程度にすぎない。したがって、たとえば基板サイズ $47 \times 37 \text{ cm}$ 基板全面をレーザ結晶化するためには、少なくとも $87 - 870$ 箇所にはレーザ照射が必要となる。 1 m 角というように、基板サイズが拡大すれば、同様に照射箇所数が増加する。一般に、これらのレーザ結晶化は上述のように図 1 に示すような構成のパルスレーザ照射装置により実現される。

【0 0 0 7】

上記の方法で大面積基板上に薄膜半導体素子群を均一に形成するためには、特開平 5 - 2 1 1 1 6 7 号公報（特願平 3 - 3 1 5 8 6 3 号）に開示されているような、素子群をレーザのビームサイズよりも小さく分割し、ステップアンドリピートにより数パルス照射+照射領域の移動+数パルス照射+照射領域の移動+…

・を繰り返す方法が有効であることが知られている。図2(2)に示すように、レーザの発振とステージ(すなわち基板もしくはビーム)の移動とが交互に行われる方法である。ところが、本手法によっても現在入手しうる発振強度均一性 $\pm 5\sim 10\%$ (連続発振時)程度のパルスレーザ装置を用い、たとえば1パルス/場所 ~ 20 パルス/場所程度の照射を繰り返す場合、発振強度バラツキが $\pm 5\sim 10\%$ を超え、結果として得られる多結晶シリコン薄膜並びに多結晶シリコン薄膜トランジスタ特性が十分な均一性を有さないという問題があった。特にスパイキングと呼ばれる、レーザ発振初期の放電の不安定に起因した、強光あるいは弱光の発生が不均一化の問題となっている。この補正を行うべく、積算強度結果により次の発振時の印加電圧を制御するような方法では、スパイキングの発生は抑制できるもののかえって弱光を発振してしまうという問題があった。すなわち、図3に示すように、照射時間と非発振時間とが交互に連続する場合、各照射時間に発振される第1のパルス強度が、最も不安定でありバラツキやすく、また照射箇所によって照射強度履歴が異なるため、基板面内でのトランジスタ素子及び薄膜集積回路の十分な均一性が得られないという問題があった。このようなスパイキングの回避方法としては、図2(1)に示すように、レーザ発振を、素子形成領域への照射開始以前から開始することにより回避する方法が知られているが、図2(2)に示すようなレーザの発振とステージの移動とが断続的に繰り返す場合には応用できないという問題があった。さらにこれらの問題を回避すべく、特開平5-90191号公報ではパルスレーザ光源を連続発振させると共にステージの移動期間には光遮蔽装置を用いて基板への照射を防ぐ方法が提案されている。すなわち、図2(3)に示すようにレーザをある周波数で連続発振させ、所望の照射位置へのステージの移動と光路の遮蔽を同期させることによって、強度の安定したレーザ光を所望の照射位置へ照射を可能にした。ところが、本方法によればレーザビームの安定した基板への照射が可能になるものの、多結晶シリコン薄膜形成に寄与することのない無駄なレーザ発振が増え、高価なレーザ光源や励起ガスの寿命に対する多結晶シリコン薄膜の生産性及び、レーザ発振に要する電力等に対する多結晶シリコン薄膜の生産効率が低下するため、生産コストの上昇を招くという問題があった。また、レーザが露光される基板も、照射強度ばらつ

きによって所望の値に比べ過度な強光が照射されると、基板ダメージが生じる。LCD等のイメージングデバイスでは基板を透過する光が、基板上のダメージを受けた領域において散乱等を引き起こし画像品質の低下が生じるという問題があった。

【0008】

光マスク上のパターンをシリコン薄膜上に縮小投影しレーザ結晶化する技術は

公知資料2、R. Sposili and J. Im, "Sequential lateral solidification of thin silicon films on SiO₂", Applied Physics Letters誌、vol. 69, (1996), 2864及び、

公知資料3、J. Im, R. Sposili and M. Crowder, "Single-crystal Si films for thin film transistor devices", Applied Physics Letters誌、vol. 70, (1997), 3434に開示されている。本文献によれば、308nm excimer laser, variable-energy attenuator, variable-focus field lens, patterned-mask, two-element imaging lens, sub-micrometer-precision translation stage

を用いて、1:5程度の縮小投影を行うことによって、 μm オーダのビームサイズと μm オーダの基板ステージの移動ピッチを実現している。ところが本方法を上記のような大型の基板処理に用いた場合、光マスク上に照射されるレーザビームが光源に依存した空間的な強度プロファイルを持つため、例えばマスク上の中心と周辺とを透過した露光パターンに致命的な強度分布が生じ、所望の均一性を持った結晶性シリコン薄膜を得ることができないという問題があった。さらに、波長の短い紫外光を縮小投影するためビームの焦点深度が小さく、基板のそり、たわみによる照射深度ずれが生じやすいという問題があった。また、基板が大きくなるにつれてステージの機械的精度を確保することが困難であり、ステージの傾きや移動時のステージ上での基板のずれが、所望のレーザ照射条件を妨げるという問題もあった。

【0009】

さて上記のようなレーザ照射を行う際に、複数のパルスのある遅延時間をもたせて照射する方法が

公知資料 4、Ryoichi Ishihara et al. "Effects of light pulse duration on excimer laser crystallization characteristics of silicon thin films", Japanese journal of applied physics, vol. 34, No.4A, (1995) pp1759

に開示されている。上記公知文書によれば、レーザ再結晶化プロセスにおける溶融シリコンの結晶化固化速度は 1 m/sec 以上であり、良好な結晶成長を得るためには、固化速度の低減が必要である。固化が完了した直後に第 2 のレーザパルス照射することにより第 2 の照射によってより固化速度の小さな再結晶化過程を得られるというものである。さて、図 4 に示すようなシリコンの温度変化（時間履歴曲線）によれば、レーザエネルギー（例えば図 5 に示す強度パルス）の照射とともにシリコンの温度が上昇し、出発材料が a-Si の場合、a-Si の融点を経た後さらに温度が上昇、エネルギーの供給が温度上昇に必要な値を下回ると、冷却が始まる。結晶 Si の凝固点において、凝固時間を経て固化が終了した後、雰囲気温度まで冷却される。ここで、シリコンの固化がシリコン-基板界面を起点に膜厚方向に進むとすると、上記固化速度の平均値は以下のような式で表される。

$$[0010]$$

固化速度の平均値 = シリコンの膜厚 / 凝固時間

すなわち、シリコンの膜厚が一定であれば、固化速度を小さくするためには凝固時間の長時間化が有効である。したがって、熱平衡学的に理想的な状態を維持したプロセスであれば、理想的な投入するエネルギーすなわちレーザ照射エネルギーを大きくすることで、凝固時間の拡大が可能である。ところが上記公知文書においても指摘されているとおり、照射エネルギーの増大は膜の非晶質化、微結晶化を引き起こすという問題があった。現実的な溶融・再結晶化工程においては図 4 のような理想的な温度変化を示さず、加熱時には温度の過上昇、冷却時には過冷却過程を経て安定状態に到達する。特に冷却時の冷却速度が大きく過度の過冷却を経る場合、凝固点近傍での結晶化が生ずることなく、急速冷却固化によりアモルファス（非晶質）固体が形成されるためである。薄膜においては上記公知文献中에서도述べられているとおり、条件によってアモルファスではなく、微結晶体を形成することもある。微結晶体は、多結晶薄膜あるいは単結晶薄膜に比べその

粒径が極端に小さいために、粒界ポテンシャルの大きな結晶粒界が多数存在し、たとえば薄膜トランジスタへの応用ではオン電流の低下、あるいはオフリーク電流の増大を招くといった問題を有する。

【0011】

一方で、被レーザー照射材料であるa-Si薄膜の形成工程、レーザー照射工程、プラズマ水素化工程、ゲート絶縁膜の形成工程を順次あるいは順を変えて、大気暴露することなく行う技術が、下記の特許公報に開示されている。

【0012】

特開平5-182923号公報 非晶質半導体薄膜を加熱処理した後、レーザーを照射する工程を大気暴露することなく行う。

【0013】

特開平7-99321号公報 レーザ結晶化多結晶シリコン薄膜を有する基板を大気暴露することなくプラズマ水素化、ゲート絶縁膜の形成工程に基板搬送する。

【0014】

特開平9-7911号公報 レーザ結晶化多結晶シリコン薄膜を有する基板を大気暴露することなくゲート絶縁膜の形成工程に基板搬送する。

【0015】

特開平9-17729号公報 レーザ結晶化多結晶シリコン薄膜を有する基板を大気暴露することなくゲート絶縁膜の形成工程に基板搬送し多結晶シリコン表面への不純物の付着を防ぐ。

【0016】

特開平9-148246号公報 非晶質シリコン薄膜の形成、レーザー結晶化、水素化、ゲート絶縁膜の形成を大気暴露することなく連続して行う。

【0017】

特開平10-116989号公報 非晶質シリコン薄膜の形成、レーザー結晶化、水素化、ゲート絶縁膜の形成を大気暴露することなく連続して行う。

【0018】

特開平10-149984号公報 非晶質シリコン薄膜の形成、レーザー結晶化、

水素化、ゲート絶縁膜の形成を大気暴露することなく連続して行う。

【0019】

特開平 11-17185 号公報 非晶質シリコン薄膜の形成、レーザ結晶化、ゲート絶縁膜の形成、ゲート電極の形成を大気暴露することなく連続して行う。

【0020】

これらの思想、技術は、レーザ結晶化によって形成されたシリコン表面が非常に活性であるため大気中に曝すことにより不純物が付着しやすくなり、結果として形成される TFT の特性を劣化させる、あるいはその特性にばらつきを生じさせるという問題を解決するために考案されている。そこで、出願人らはエキシマレーザ結晶化技術と酸化シリコン膜形成技術を同一装置（大気に曝さず別の装置に基板を搬送することを含む）で行い、いったん大気に曝した場合との性能比較を行った。その結果、ゴミ、パーティクルの付着防止効果による製品の歩留まり率の向上には大きな効果があったものの、この効果はクリーンルーム環境のクリーン度を高めることである程度同等の効果が得られることがわかった。歩留まり率の向上には、成膜装置よりも同一装置内に基板の洗浄機構を組み込んだものが最も効果大きい。例えば a-Si の形成工程の形成条件によっては成膜中に基板上にパーティクルが付着し、いったん大気中に解放して洗浄工程を必要とするものもあった。一方で、薄膜トランジスタの性能に着目すると、上記製造プロセスの違いは顕著な差異をもたらさなかった。この理由は以下のように考察できる。本出願人らは、例えば、

公知資料 5、K. Yuda et al. "Improvement of structural and electrical properties in low-temperature gate-oxides for poly-Si TFTs by controlling O_2/SiH_4 ratios", Digest of technical papers 1997 international workshop on active matrix liquid crystal displays, September 11-12, 1997, Kogakuin Univ., Tokyo, Japan- ,87

において、300～350℃程度の温度でプラズマを用いて形成されるシリコン酸化膜や 600℃程度の熱処理を経て形成されるシリコン酸化膜の固定酸化膜電荷密度 ($10^{11} \sim 10^{12} \text{ cm}^{-2}$) や、シリコン基板との間の界面準位密度 ($\sim 6 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$) を開示している。この場合、上記シリコン基板は一般に RCA 洗浄

と呼ばれる硫酸／過酸化水素水、塩酸／過酸化水素水／水、アンモニア／過酸化水素水／水、フッ酸／水等の酸性（必要に応じて加熱）洗浄液をもちいて洗浄、水洗後、成膜装置内に導入される。したがって、上記界面準位密度値は、単結晶シリコン基板ではあるものの、清浄界面形成（洗浄）後いったん大気に曝され、成膜工程に移った試料から得たものである。ここで一方のレーザ結晶化シリコン膜のトラップ準位密度に注目する。本出願人らは、例えば、公知資料 6、H. Tanabe et al., "Excimer laser crystallization of amorphous silicon films", NEC Research and Development誌, vol. 35, (1994), 254 において、レーザ結晶化シリコン膜を有する薄膜トランジスタから、結晶化シリコン膜中のトラップ準位密度($10^{12} \sim 10^{13} \text{ cm}^{-2}$)を開示している。しかもこれらのトランジスタが示す電界効果移動度は $40 \sim 140 \text{ cm}^2/\text{vsec}$ と良好な特性を示している。

【0021】

さて、上記シリコン膜中のトラップ準位密度と、界面準位密度（あるいは固定酸化膜電荷密度）を比較すると明らかにトラップ準位密度の値のほうが大きい。すなわち、同一装置内で大気の曝すことなくシリコン膜／ゲート絶縁膜を形成した試料において、その清浄性の効果を得るためには、シリコン膜の性能（トラップ準位密度）が十分ではないという問題があることが判明した。

【0022】

次に、プラズマダメージを低減し良質なゲート絶縁膜を形成する手段としてリモートプラズマCVD（化学的気相成長）法が提案されている。例えば、特開平 5-21393 号公報には、プラズマ発生室と基板処理室を分離する構成が開示されている。このような構成をとることにより、上述のような低固定酸化膜電荷密度 ($10^{11} \sim 10^{12} \text{ cm}^{-2}$) や、低界面準位密度 ($\sim 6 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-2}$) が実現できると推察できるが、この効果は上述のように予め形成されるシリコン膜の性能に制限されてしまうという問題があった。

【0023】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の目的は、上記述べてきた問題を克服すべく、トラップ準位密度の小さ

い半導体薄膜を光照射によって形成する技術を提供すると共に、大面積基板上に再現性よくその技術を応用するための技術／装置を提供することにある。

【 0 0 2 4 】

本発明のもう一つの目的は、それらの良質な半導体膜上に良質なゲート絶縁膜を形成する手段を提供し、良好な半導体－絶縁膜界面すなわち優れた特性を有する電界効果型トランジスタを製造する装置を提供することにある。

【 0 0 2 5 】

【課題を解決するための手段】

(1) 本発明によれば、光マスク上に形成した複数のパターンを半導体薄膜に投影露光して、半導体薄膜の所定の領域を改質する半導体薄膜形成装置において、露光されるべき光を、上記光マスク上の所定の領域において、該領域内の光の強度分布が該領域内の光の平均強度の $\pm 11.2\%$ 以内の範囲に含まれるように、均一化させる機構を有することを特徴とする半導体薄膜形成装置が得られる。露光光を、ビームホモジナイザを用いて空間均一性 $\pm 11.2\%$ 程度以下に均一化し、光マスク上に照射するため、半導体薄膜に投影露光される光の少なくともピーク強度の場所分布が、光マスク上の強度分布と同等に均一化される。その結果露光領域全体において所望のレーザ改質が実現される。

【 0 0 2 6 】

(2) 本発明によれば、光マスク上に形成した露光パターンを、基板ステージに保持された基板上の半導体薄膜に投影露光して、半導体薄膜の所定の領域を改質する半導体薄膜形成装置において、光マスクまたは基板ステージを個別または同時に駆動することにより、露光パターンを順次走査する機構を有することを特徴とする半導体薄膜形成装置が得られる。光マスクによって基板上に投影露光できる面積が基板サイズに比べ小さい場合、露光領域への基板の移動を基板ステージによって行う。基板を固定した状態でレーザの照射に合わせてマスクステージを移動させることによって、所望の領域に順次露光する。

【 0 0 2 7 】

(3) 本発明によれば、光マスク上に形成した露光パターンを半導体薄膜に投影露光して、半導体薄膜の所定の領域を改質する半導体薄膜形成装置において、

露光パターンを半導体薄膜に投影露光する際の、露光パターンの半導体薄膜の所定の領域への焦点合わせを行う焦点合わせ機構を有することを特徴とする半導体薄膜形成装置が得られる。露光領域への基板の移動を基板ステージによって行う場合、基板のそり、たわみ、厚さのばらつきなど、あるいは基板ステージの露光軸に対する垂直度などのずれによって、基板中心部と基板周辺部等で焦点位置からのずれが生じて、随時焦点合わせを行うことによって、再現性よく基板全面に所望の露光を行うことができる。

【0028】

(4) 本発明によれば、光マスク上に形成したパターンを半導体薄膜に露光ビームにより投影露光して、半導体薄膜の所定の領域を改質する半導体薄膜形成装置において、露光ビームの半導体薄膜に対する傾きを補正する傾き補正機構を有することを特徴とする半導体薄膜形成装置が得られる。露光領域への基板の移動を基板ステージによって行う場合、基板のそり、たわみ、厚さのばらつきなど、あるいは基板ステージの露光軸に対する垂直度などのずれによって、基板中心部と基板周辺部等で露光軸からのずれが生じて、随時傾き補正を行うことによって、再現性よく基板全面に所望の露光を行うことができる。

【0029】

(5) 本発明によれば、光マスク上に形成したパターンを半導体薄膜に露光ビームにより投影露光して、半導体薄膜の所定の領域を改質する半導体薄膜形成装置において、半導体膜が堆積された基板上に形成されたマークに対し、露光ビームの位置合わせを行うアライメント機能を有することを特徴とする半導体薄膜形成装置が得られる。予め設けられたアライメントマークを基準に露光領域を決定することによって、所望の場所に所望の露光条件で露光改質された半導体薄膜を形成することができるため、例えばトランジスタのチャネル領域のみを露光改質することができる。すなわち改質した領域に対応して、ソース・ドレイン、チャネル領域を順次次の工程でパターン形成することができる。

【0030】

(6) 本発明によれば、光マスク上に形成したパターンを半導体薄膜に投影露光して、半導体薄膜の所定の領域を改質する半導体薄膜形成装置において、半導

体膜が堆積された基板をステージ上に保持する機能を有することを特徴とする半導体薄膜形成装置が得られる。光マスクによって基板上に投影露光できる面積が基板サイズに比べ小さい場合、露光領域への基板の移動を基板ステージによって行う。基板を固定した状態でレーザの照射に合わせてマスクステージを移動させることによって、所望の領域に順次露光する。このような場合、基板ステージの移動等でステージ上の基板がずれる。特に回転補正 (θ 補正) が必要な場合、ずれが発生したときにその都度補正を行なうことはスループットの妨げになるため、基板を保持することが必要になる。またステージ上で基板加熱を行うような場合、加熱により基板のそり、たわみが発生するため、それによる焦点ずれや露光軸からの傾きが発生することを防止する。

【 0 0 3 1 】

(7) 本発明によれば、光マスク上に形成したパターンを半導体薄膜に露光ビームにより投影露光して、半導体薄膜の所定の領域を改質する半導体薄膜形成装置において、複数のレーザ光を前記露光ビームとして合成する合成機構を有することを特徴とする半導体薄膜形成装置が得られる。

【 0 0 3 2 】

(8) 本発明によれば、上記 (7) に記載の半導体薄膜形成装置において、前記複数のレーザ光が第 1 および第 2 のレーザ光であり、前記合成機構は、第 1 のレーザ光に対し第 2 のレーザ光が遅延して半導体薄膜に照射されるように、第 1 および第 2 のレーザ光を前記露光ビームとして合成することを特徴とする半導体薄膜形成装置が得られる。

【 0 0 3 3 】

図 6 に膜厚 75 nm のシリコン薄膜に波長 308 nm のエキシマレーザを照射した場合の、数値計算から求めた最大冷却速度 (Cooling rate, K/sec) と、レーザ照射後の膜の SEM 観察から得られた結晶化—微結晶化の照射強度のしきい値を示す。図 5 は実験に用いたレーザの発光パルス波形である。3 つの主ピークを有し発光時間は約 120 nsec に及ぶ。このようなパルス波形は、上記公知資料 6 に記載されているパルス幅 21.4 nsec の矩形パルスに比べ 5 倍以上の発光時間を有することから、単一パルス照射であっても上記公知資料 6 中で述べ

られているような固化速度の低減といった効果が期待できる。さて、このようなパルス波形を用いたレーザ再結晶化時の数値計算から求めたシリコンの温度-時間曲線は図7に示すようになる。図7はシリコン膜厚75nm、基板にSiO₂、XeClレーザ（波長308nm）照射強度が450mJ/cm²である時のシリコン薄膜の温度変化を示す。第2の発光ピークがほぼ終了する約60ns後、c後に最高温度に達し冷却へと転じる。（なお、本数値計算では溶融・凝固点として非晶質シリコンの値を用いており、凝固点付近の振る舞いは現実のものとは異なる。特に結晶化膜が得られる場合は、結晶シリコンの凝固点で結晶化が完了する。）いったん大きな傾きを持って冷却が開始されるが、第3のピークが存在する100ns程度の傾きは非常に小さくなることがわかる。完全に発光が終了する120ns以降では、再び急速な冷却過程を経て凝固する。一般に、熱平衡過程を大きくはずれるような“急冷”を経た液体からの固化過程の場合、結晶構造の形成に必要な十分な凝固時間を得ることができず、アモルファス（非晶質）固体を形成する。図7に示すようなシリコンの温度-時間曲線から各照射強度に対し発光終了後の最大冷却速度を見積もった結果を図6に示す。照射強度の増大とともに冷却速度が増加することがわかる。一方、レーザ照射後のシリコン薄膜の構造を走査型電子顕微鏡を用いて観察したところ、照射強度の増大とともにいったん粒径は増大するものの、470mJ/cm²程度の設定照射強度条件において、微結晶化が観測された。同様に照射パルス数を3パルスにした場合、470mJ/cm²程度の設定照射強度条件においても、部分的に微結晶化領域が残るものの1パルスの時とは異なり粒径の飛躍的な増大が観測された（図8）。なお、実照射強度は、エキシマレーザの特に最初の数パルスにおいて、設定値に比べ5～10%程度高くなるため、微結晶化が生じるしきい強度は500mJ/cm²程度と見積もることができる。以上のような結果から、図6の500mJ/cm²条件から冷却速度を見積もることにより、微結晶化は約1.6×10¹⁰℃/sec以上の冷却速度条件で生じることがわかった。被照射膜がa-Siの場合、約500mJ/cm²以上の照射強度で微結晶化が、同様に、被照射膜がpoly-Siの場合にこの冷却速度を当てはめると、a-Siに比べ約30mJ/cm²大きい照射強度が示唆される。したがって、冷却速度を1.

$6 \times 10^{10} \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 以下に制御することによって、微結晶化、アモルファス化を防ぐことができ、良好な結晶成長過程を得ることが可能になる。

【0034】

第2のレーザ光を第1のレーザ光に遅延して導入した場合について述べる。すでに述べたように、発光後期のレーザ光が冷却速度の増大を緩和するとともに、発光終了後の冷却速度が結晶化を支配する。すなわち、最終的に投入されたエネルギーによりそれ以前の冷却過程は初期化されると考えられる。更に付加的なエネルギーを投入することによって、それ以前の固化過程において急冷による非晶質化、微結晶化が生じていても、エネルギーは保存されている（ナノ秒オーダーと短時間のため、基板への熱伝導、雰囲気への放射は小さいと考えられる。もちろん十分な熱の放出が可能な時間は考慮しない）ため一旦初期化され、再度固化過程を繰り返すものと考えられる。したがって再度投入されたエネルギーによる2次加熱終了後の冷却速度に注目することによって、良好な結晶成長が期待できる。図9に示すように、遅延時間を制御することによって冷却速度を所望の値にコントロールする。

【0035】

さて、照射されるビームの空間的な強度分布について次に述べる。複数のスリットを用いたレーザ照射においても、スリット内の空間分布が一定でありかつスリット間の強度空間分布が一定であることが望ましいが、光学素子設計や光学素子作製上の制限から、±数%～十数%程度のばらつきが生じてしまう。エキシマレーザ光の経時変化や光学系の消耗、光学素子への異物の付着等も考慮するとその分布は±数十%になる場合もある。図10は、図8に示すような顕微鏡写真から求めた、照射強度と照射回数（照射パルス回数） N に依存した平均結晶粒径 d （ $d = KN^n$, ここで、 K は定数、 n は傾きを示す）の変化を示している。図10が示唆するように、照射強度が $450 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 程度を境に照射回数 N に対する粒径変化の傾き n が変化する。所望の作製条件を照射強度と場所あたりの照射回数 N で設計する場合、空間的な強度分布が $n=1/4$ となるような条件と $n=1/7$ となるような条件とを混在させないことが望ましい。したがって、空間的なばらつきが生じた場合でも例えば $521 \sim 470 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ の範囲（平均強度 $495.5 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ の

約±5.2%以内の範囲)あるいは $424 \sim 339 \text{ mJ/cm}^2$ の範囲(平均強度 381.5 mJ/cm^2 の約±11.2%以内の範囲)に分布が収まるように照射を行えば、極端な平均粒径の相違を抑制したSi薄膜のレーザ結晶化が可能になる。

【0036】

(9) 本発明によれば、光マスク上に形成したパターンを基板上の半導体薄膜に投影露光して、半導体薄膜の所定の領域を改質するための処理室を有する半導体薄膜形成装置において、大気に暴露することなく別の処理室に基板を搬送する機構を有することを特徴とする半導体薄膜形成装置が得られる。

【0037】

(10) 本発明によれば、上記(9)に記載の半導体薄膜形成装置において、前記別の処理室が基板に絶縁膜を形成するための絶縁膜形成室であることを特徴とする半導体薄膜形成装置が得られる。

【0038】

半導体膜中のトラップ準位密度が、界面準位密度と同等かそれ以下になるために、同一装置内で大気の曝すことなく半導体膜/ゲート絶縁膜を形成することによって、その清浄性維持の効果を十分活かし、良好な半導体-絶縁膜界面を得ることが可能になる。

【0039】

(11) 本発明によれば、上記(9)に記載の半導体薄膜形成装置において、前記別の処理室が基板に半導体膜を形成するための半導体膜形成室であることを特徴とする半導体薄膜形成装置が得られる。

【0040】

(12) 本発明によれば、上記(9)に記載の半導体薄膜形成装置において、前記別の処理室が基板に加熱処理を施すための加熱処理室であることを特徴とする半導体薄膜形成装置が得られる。

【0041】

(13) 本発明によれば、上記(9)に記載の半導体薄膜形成装置において、前記別の処理室が基板にプラズマ処理を施すためのプラズマ処理室であることを特徴とする半導体薄膜形成装置が得られる。

【 0 0 4 2 】

(1 4) 本発明によれば、上記 (9) に記載の半導体薄膜形成装置において、前記処理室が、前記光マスク上に形成したパターンを前記基板上の半導体薄膜にレーザビームにより投影露光して、半導体薄膜の前記所定の領域を改質するためのレーザ処理室であり、前記別の処理室がもう一つのレーザ処理室であることを特徴とする半導体薄膜形成装置が得られる。

【 0 0 4 3 】

このような構成をとることによって、高性能、多機能半導体形成装置の提供、低コスト、高再現性薄膜トランジスタ製造プロセスの提供、及び高性能薄膜トランジスタの提供がそれぞれ可能になる。

【 0 0 4 4 】

具体的には、

- 1) 薬液による洗浄工程削減が可能な安定性の高い半導体薄膜プロセス装置の提供
 - 2) 同一装置において多工程を処理可能な多機能型装置を提供することによって、トータルの工場設置面積を小さくできる、省スペース半導体プロセス装置の提供
 - 3) シリコン清浄表面 (界面) を、薬液を用いることなく維持可能な低コスト、高性能薄膜トランジスタの製造方法の提供
- がそれぞれ可能になる。

【 0 0 4 5 】

(1 5) 本発明によれば、上記 (9) ~ (1 3) のいずれかに記載の半導体薄膜形成装置において、前記別の処理室は、該別の処理室内の所定の領域にプラズマを発生させるためのプラズマ発生源を有し、前記別の処理室内の前記所定の領域外の領域に基板が配置されることを特徴とする半導体薄膜形成装置が得られる。

【 0 0 4 6 】

(1 6) 本発明によれば、上記 (1 3) に記載の半導体薄膜形成装置において、前記別の処理室は、該別の処理室内の所定の領域にプラズマを発生させるため

のプラズマ発生源を有し、前記別の処理室は、前記所定の領域の前記プラズマにより励起されたガスと、前記所定の領域を介さずに前記別の処理室内に導入される別のガスとを反応させることにより、前記基板に前記プラズマ処理を施すものであることを特徴とする半導体薄膜形成装置が得られる。

【0047】

プラズマ発生室と基板処理室を分離する構成によって、プラズマダメージを低減し良質なゲート絶縁膜を形成する手段に加えて、シリコン膜中のトラップ準位密度が、界面準位密度と同等かそれ以下になるために、良好な半導体-絶縁膜界面を得ることが可能になる。

【0048】

【発明の実施の形態】

次に本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

【0049】

図11は本発明の実施の形態を表した例である。第1のエキシマレーザEL1及び第2のエキシマレーザEL2から供給されるパルスUV光は、ミラー類opt3、opt3'、レンズ類opt4を介してホモジナイザopt20'に導かれる。ここでビームの強度プロファイルが光学マスクopt21で所望の均一度、例えば面内分布±5%、になるように整形する。（エキシマレーザから供給されるオリジナルなビームはその強度プロファイルや総エネルギー量が、パルス間毎に変化する場合があるため、光学マスク上での強度が、空間的分布、パルス間ばらつきについて、より均一化されるための機構が設けられることが望ましい。ホモジナイザとしては、フライアイレンズやシリンドリカルレンズを用いたものが一般的に用いられる。）上記光学マスクによって形成された光パターンは縮小投影露光装置opt23'、レーザ導入窓W0を介して、真空チャンバC0内に設置されたsub0基板に照射される。上記基板は、基板ステージS0上に載置されており、基板ステージの動作によって所望の領域、例えばパターン転写領域ex0に光パターンを露光することができる。図11では縮小投影光学系を示したが、場合によっては等倍、拡大投影を行ってもかまわない。基板ステージの移動（図内X-Y）によって基板上の任意の領域に照射が行われる。また、上記光学マスクはマスクステージ（図示せず）上に設置さ

れ、露光可能領域内であれば、上記光学マスクを移動して基板上に照射されるビームを操作することも可能である。

【0050】

次に所望の光パターンを所望の条件で基板上に照射するために必要な機構について例示する。光軸の調整には微妙な調整が必要となるため、いったん調整を終えた光軸を固定して基板の位置を調整する方法を示す。光軸に対する基板照射面の位置は、焦点（Z）方向位置及び光軸に対する垂直度を補正する必要がある。したがって、図中 θ_{xy} 傾き補正方向、 θ_{xz} 傾き補正方向、 θ_{yz} 傾き補正方向、X露光領域移動方向、Y露光領域移動方向、Z焦点合わせ方向で示すうち、 θ_{xy} 傾き補正方向、 θ_{xz} 傾き補正方向、 θ_{yz} 傾き補正方向の調整により光軸に対する垂直度を補正する。また、Z焦点合わせ方向を調整することにより光学系の焦点深度にあった位置に基板照射面を配置制御する。

【0051】

図12は上記の調整や基板のアライメント機構の側面図について例示した。露光軸L0に対し、光学マスクopt21、縮小投影露光装置opt23'、レーザ導入窓W0が図のように配置される。真空チャンバC0内に配置された基板sub0は、基板吸着機構付きヒータH0、基板XYZ θ_{xy} θ_{xz} θ_{yz} ステージS0'上に配置される。真空チャンバを用いているが実際の光照射は真空排気後置換された不活性ガス、水素、酸素、窒素等の雰囲気中で行われることが望ましく、雰囲気圧も大気圧前後の圧力であってもよい。基板吸着機構付きヒータを用いることによって光照射時に、室温～400℃程度の基板加熱条件を選ぶことができる。上記のように雰囲気圧を大気圧程度にすることによって、真空チャック機能による基板の吸着ができるため、チャンバ内での基板ステージの移動等があってもずれを防止でき、投入された基板に多少のそり、たわみがあっても基板ステージに固定することができる。さらに加熱による基板のそり、たわみによる焦点深度ずれを最小限に抑えることができる。

【0052】

レーザ干渉計i1, i2は、測長用窓W-i、測長用ミラーopt-iを介して、基板のアライメント及び基板のZ方向位置の測定を行う。アライメントには、基板上のア

ライメントマークをオフアクシス顕微鏡 m_0 、顕微鏡用光源 L_m 、顕微鏡用素子 $opt-m$ を用いて計測し、レーザ干渉系による基板位置情報を用いて所望の露光位置を計測できる。図12ではオフアクシス法を例示したが、Through The Lens方式やThrough The Mask (Reticle)方式を応用することも可能である。また、複数の計測地点から線形座標を、最小2乗法を用いて決定することにより、計測時に生じる測定誤差を平均化する手段をとることもできる。

【0053】

図13(A)~(C)にマスクパターンとアライメントマークの関係について示した。マスクはマスク（非露光部） $mask1$ とマスク（露光部） $mask2$ とから構成される。例えばエキシマレーザを光源にする場合、紫外光が透過する石英基板上にアルミニウム、クロム、タンゲステンなどの金属や、誘電体多層膜といった紫外光を吸収、反射する膜を形成し、フォトリソグラフィとエッチング技術を用いてパターンを形成する。マスク上の所望のパターン（図13(A)において白色部で示される）に応じて、シリコン膜が露光され図13(B)に示されるように非露光Si (Si1) 内に露光Si部 (Si2) が形成される。このとき、必要に応じてマスク上マーク $mark1$ が基板上マーク $mark2$ に一致するようにアライメント調整後露光することによって、シリコン薄膜上の予め設計された位置を露光することが可能となる。また、上記シリコン薄膜を用いた薄膜トランジスタ形成工程において、露光プロセスが位置決めを必要とする第1工程の場合（すなわちアライメントマークが予め形成されていない場合）、シリコン薄膜への露光工程時に露光形成マーク $mark3$ を同時に露光することによって、a-Siと結晶Siとの光学的色差を利用したアライメントマークが形成できる。したがってこのマークを基準に後工程におけるフォトリソグラフィ等を行うことによって、露光改質された所望の領域に、トランジスタや所望の機構、機能を作り込むことができる。露光工程後シリコン薄膜上にSi酸化膜を形成し、シリコン層の所望の領域がエッチング除去された状態を図13(C)に示す。Si除去部 (Si3) は積層されたシリコン膜とSi酸化膜がエッチング除去された領域であり、非露光Si (Si1) と露光Si (Si2) 上にSi酸化膜 (Si4, Si5) が積層された形状が示されている。このように酸化膜で覆われたシリコン膜からなる島状構造を作り込むことによって素子間分離された薄膜トランジスタ

タのチャンネル／ソース・ドレイン領域や後工程のアライメントに必要なマークを形成することができる。

【0054】

図14(1)(2)に主要動作のタイミングチャートを示す。制御例1では基板ステージをの動作により所望の露光位置に基板を移動させる。次に焦点合わせやアライメント動作を行い精密に露光位置を調整する。このとき、例えば $0.1\mu\text{m}$ ～ $100\mu\text{m}$ 程度といった、所望の設定誤差精度にはいるように調整する。その動作が完了した時点で、基板への光照射が実行される。これらの一連の動作を終了した時点で次の露光領域へ基板が移動し、基板上の必要な箇所を照射終了した後、基板が交換され第2の処理基板上で所定の一連の処理を行う。制御例2では基板ステージをの動作により所望の露光位置に基板を移動させる。次に焦点合わせやアライメント動作を行い精密に露光位置を調整する。このとき、例えば $0.1\mu\text{m}$ ～ $100\mu\text{m}$ 程度といった、所望の設定誤差精度にはいるように調整する。その動作が完了した時点で、マスクステージの動作を始動する。始動時の移動ステップ量のばらつきを避けるために、基板への光照射はマスクステージ動作の開始よりもあとから開始されるチャートである。もちろんステージの移動によりアライメント位置から離れた地点に露光されるため、その分のオフセット量は予め考慮する必要があることはいうまでもない。基板への光照射よりも早く光源の運転を開始し、光源の出力強度の安定性が高まった時点で、シャッタ等を開き基板への光照射を行うことも可能である。特にエキシマレーザを光源に用い、発振期間と停止期間とが繰り返されるような使用法をとった場合、初期の数10パルスが特に不安定なことが知られており、これらの不安定なレーザパルスを照射したくない場合には、マスクステージの動作に合わせてビームを遮断する方式をとることができる。これらの一連の動作を終了した時点で次の露光領域へ基板が移動し、基板上の必要な箇所を照射終了した後、基板が交換され第2の処理基板上で所定の一連の処理を行う。

【0055】

膜厚75nmのa-Si薄膜に対して $1\text{mm} \times 50\mu\text{m}$ のビームを短軸方向に $0.5\mu\text{m}$ ピッチで走査した。一つの光源を用いてレーザ照射強度は照射面で $470\text{mJ}/\text{cm}^2$ とし

たところ、走査方向に連続する単結晶シリコン薄膜が得られた。さらに、第2光源を照射面で $150\text{mJ}/\text{cm}^2$ となるように、 100nsec 遅延させて照射した条件では $1.0\text{ }\mu\text{m}$ の走査ピッチ条件でも走査方向に連続する単結晶シリコン薄膜が得られた。上記結晶化シリコン膜中のトラップ準位密度は 10^{12} cm^{-2} より低い値を示した。

【0056】

図15は、本発明の実施の形態を示す半導体薄膜形成装置の側面図である。プラズマCVD室C2、レーザ照射室C5、基板搬送室C7から構成され、ゲートバルブGV2、GV5を介して基板の搬送が装置外部の雰囲気に触れることなく真空中、不活性ガス、窒素、水素、酸素等の雰囲気かつ高真空、減圧、加圧状態で可能である。レーザ照射室においては 400°C 程度まで加熱可能なS5基板ステージ上にチャック機構を用いて基板が設置される。プラズマCVD室では、 400°C 程度まで加熱可能な基板ホルダーS2上に基板が設置される。この例ではガラス基板Sub0上にシリコン薄膜(Si 1)が形成された状態でレーザ照射室に導入され、表面のシリコン薄膜がレーザ照射により結晶性シリコン薄膜(Si 2)に改質され、プラズマCVD室に搬送された状態を示している。

【0057】

レーザ照射室に導入されるレーザ光は、エキシマレーザ1 (EL 1)、エキシマレーザ2 (EL 2) から供給されるビームが第1のビームラインL 1、第2のビームラインL 2を通り、レーザ合成光学装置opt 1、ミラーopt 11、透過ミラーopt 12、レーザ照射光学装置opt 2、ホモジナイザopt 20、光学マスクステージopt 22に固定された光学マスクopt 21、投影光学装置opt 23、レーザ導入窓W 1を介して基板表面に到達する。ここでは2台のエキシマレーザを図示したが、光源としては1台以上所望の台数を設置することもできる。またエキシマレーザに限らず、炭酸ガスレーザ、YAGレーザ等のパルスレーザや、アルゴンレーザ等のCW光源と高速シャッタを用いてパルス上に供給してもよい。

【0058】

一方プラズマCVD室はRF電極D 1と プラズマ閉じこめ電極D 3により プラズマ形成領域D 2が基板が配置される領域とは離れた位置に形成される。プラズマ

形成領域には例えば酸素とヘリウムを、原料ガス導入装置D 4を用いてシランガスを供給することにより、基板上に酸化シリコン膜を形成することができる。

【0059】

図16に本発明の実施の形態を示す半導体薄膜形成装置の平面図を示す。ロード／アンロード室C1、プラズマCVD室C2、基板加熱室C3、水素プラズマ処理室C4、レーザ照射室C5、基板搬送室C7がそれぞれゲートバルブGV1～GV6を介して接続されている。第1のビームラインL1、第2のビームラインL2から供給されるレーザ光がレーザ合成光学装置opt1、レーザ照射光学装置opt2、レーザ導入窓W1を介して基板表面に照射される。また、それぞれのプロセス室、搬送室はガス導入装置gas1～gas7、排気装置vent1～vent7が接続されており、所望のガス種の供給、プロセス圧の設定、排気、真空が調整される。図に点線で示すように処理基板sub2, sub6が平面上に配置される。

【0060】

図17はプラズマCVD室C2の概略図である。高周波電源(13.56MHzあるいはそれ以上の高周波が適する)RF1から電力が高周波電極RF2に供給される。ガス供給穴付き電極RF3と高周波電極の間にプラズマが形成され、反応形成されたラジカルがガス供給穴付き電極を通り基板が配置された領域に導かれる。平面型ガス導入装置RF4によりプラズマに曝すことなく別のガスが導入され、気相反応を経て基板sub2上に薄膜が形成される。基板ホルダーS2はヒータ等により室温から500℃程度までの加熱を行うように設計した。図のように、排気装置ven2、ガス導入装置gas2、酸素ラインgas21、ヘリウムラインgas22、水素ラインgas23、シランラインgas24、ヘリウムラインgas25、アルゴンラインgas26を用いて酸素ラジカルとシランガスを反応させることによって酸化シリコン膜を形成できる。基板温度300℃、圧力0.1torr、RF電力100W、シラン流量10sccm、酸素流量400sccm、ヘリウム流量400sccmの条件で膜形成を行ったところ、固定酸化膜電荷密度($5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$)と良好な特性を有するシリコン酸化膜の形成を確認している。また、シランに対する酸素流量比を大きくすることでより良好な酸化膜の形成が可能である。プラズマCVD室の形態としては上述のような平行平板型のRFプラズマCVD装置ばかりでなく、減圧CV

Dや常圧CVDといったプラズマを利用しない方法や、マイクロ波やECR (Electron Cycrotron Resonance)効果を用いたプラズマCVD法を用いることも可能である。

【0061】

表1は図17に示すプラズマCVD装置を酸化シリコン膜以外の薄膜形成に用いる場合に必要なガス種の例を示している。

【0062】

【表1】

ガス種の組み合わせ例

	SiO ₂ 形成	Si ₃ N ₄ 形成	Si 形成	Si 形成	水素化
gas21	O ₂	N ₂			
gas22	He	Ar		Ar	
gas23			H ₂	H ₂	H ₂
gas24	SiH ₄	SiH ₄	SiH ₄		
gas25	He	Ar		Ar	
gas26				SiF ₄	

Si₃N₄窒化シリコン膜の形成にはN₂（窒素）（あるいはアンモニア）、キャリアガスとしてAr（アルゴン）、SiH₄（シラン）、キャリアガスとしてアルゴン等を用いることができる。Siシリコン薄膜の形成にはH₂水素とシラン、水素（キャリアガスとしてアルゴン）とSiF₄フッ化シラン（キャリアガスとしてアルゴン）等の原料ガスを用いることができる。また、成膜プロセスではないが、水素プラズマを利用してシリコン薄膜や酸化シリコン膜の水素プラズマ処理も可能である。

【0063】

図18は本発明の半導体薄膜形成装置を薄膜トランジスタの製造工程に応用した場合の工程フロー図である。

【0064】

(a)洗浄によって有機物や金属、微粒子等を除去したガラス基板sub0上に基板カバー膜T1、シリコン薄膜T2を順次形成する。基板カバー膜としてLPCVD（減圧化学的気相成長）法でシランと酸素ガスを原料とし、450℃で酸化シリコン膜を1μm形成する。LPCVD法を用いることにより基板保持領域を除き基板外表面全

体をカバーすることも可能である（図示せず）。あるいはテトラエトキシシラン（TEOS）と酸素を原料としたプラズマCVD、TEOSとオゾン为原料とした常圧CVD、図18に示すようなプラズマCVD等を利用することも可能であり、基板材料（アルカリ金属濃度を極力低減したガラス、表面を研磨加工した石英・ガラス等）が含む半導体デバイスに有害な不純物の拡散防止ができる材料が基板カバー膜として有効である。シリコン薄膜はLPCVDでジシランガスを原料として500℃で厚さ75nm形成する。この場合膜中に含まれる水素原子濃度が1原子%以下となるため、レーザー照射工程での水素放出による膜荒れ等を防ぐことができる。あるいは図17に示すようなプラズマCVD法や広く普及しているプラズマCVD法を用いても、基板温度や水素／シラン流量比、水素／4フッ化シラン流量比等を調整することによって水素原子濃度が低いシリコン薄膜を形成できる。

【0065】

(b)上記(a)工程で準備した基板を、有機物や金属、微粒子、表面酸化膜等を除去するための洗浄工程を経た後、本発明の薄膜形成装置に導入する。レーザー光L0が照射し、シリコン薄膜を結晶化シリコン薄膜T2'に改質する。レーザー結晶化は99.9999%以上の高純度窒素700torr以上の雰囲気で行われる。

【0066】

(c)上記工程を経た基板は、ガスが排気された後基板搬送室を介してプラズマCVD室に搬送される。第1のゲート絶縁膜T3として、シラン、ヘリウム、酸素を原料ガスとして基板温度350度で酸化シリコン膜を10nm堆積する。このあと必要に応じて水素プラズマ処理や加熱アニールを行う。ここまでの本発明の薄膜形成装置において処理される。

【0067】

(d)次に、フォトリソグラフィとエッチング技術を用いてシリコン薄膜と酸化シリコン膜積層膜のアイランドを形成する。このとき、シリコン薄膜に比べ酸化シリコン膜のエッチングレートが高いエッチング条件を選択することがこのましい。図に示すようにパターン断面が階段状（あるいはテーパ状）に形成することによって、ゲートリークを防ぎ信頼性の高い薄膜トランジスタを提供できる。

【0068】

(e)次に、有機物や金属、微粒子等を除去するための洗浄を行った後、上記アイランドを被覆するように第2のゲート絶縁膜T4を形成する。ここでは、LPCVD法でシランと酸素ガスを原料とし、450℃で酸化シリコン膜を30nm形成した。あるいはテトラエトキシシラン (TEOS) と酸素を原料としたプラズマCVD、TEOSとオゾンを経験とした常圧CVD、図18に示すようなプラズマCVD等を利用することも可能である。次にゲート電極としてn+シリコン膜を80nm、タングステンシリサイド膜を110nm形成する。n+シリコン膜はプラズマCVDやLPCVD法で形成された結晶性のリンドーピングシリコン膜が望ましい。その後、フォトリソグラフィとエッチング工程を経て、T5パターン化されたゲート電極を形成する。

【0069】

(f1, f2)次に、ゲートをマスクとして不純物注入領域T6, T6'を形成する。CMOS型回路を形成する場合は、フォトリソグラフィを併用してn+領域が必要なn-channel TFT及びp+領域を要するp-channel TFTを作り分ける。注入される不純物イオンの質量分離を行わないイオンドーピングや、イオン注入、プラズマドーピング、レーザドーピング等の方法を採用することができる。そのとき用途や不純物導入方法によって(f1)(f2)のように表面の酸化シリコン膜を残したまま、あるいは除去した後不純物の導入を行う。

【0070】

(g1)(g2)層間分離絶縁膜T7, T7'を堆積、コンタクトホールを開口後、金属を堆積、フォトリソグラフィとエッチングにより金属配線T8を形成する。層間分離絶縁膜としては、膜の平坦化が図れるTEOS系酸化膜やシリカ系塗布膜、有機塗布膜を用いることができる。コンタクトホール開口はフォトリソグラフィとエッチングにより、金属配線は抵抗の低いアルミニウム、銅あるいはそれらをベースとした合金、タングステンやモリブデンといった高融点金属が応用できる。以上のような工程を行うことによって、性能、信頼性の高い薄膜トランジスタを形成することができる。

【0071】

図19は予めアライメントマークを設け、アライメントマークに応じたレーザ

照射を行った場合の実施例、図 2 0 はレーザ照射と同時にアライメントマークを形成する場合の実施例について、T F T 製造工程フローをもとに説明する。基本的には図 1 8 の説明と類似しているため、特に異なる点を中心に説明する。

【 0 0 7 2 】

図 1 9 (a) 洗浄によって有機物や金属、微粒子等を除去したガラス基板sub0上に基板カバー膜T1、タングステンシリサイド膜を順次形成する。アライメントマークの形成のために、フォトリソグラフィとエッチングによりパターン化しアライメントマークT9を基板上に形成する。次にアライメントマークを保護するためにマーク保護膜T10を形成し、シリコン薄膜を形成する。

【 0 0 7 3 】

図 1 9 (b) レーザ光露光時にはアライメントマークを基準に所望の領域が露光される。その後は、予め設けられたアライメントマークや、結晶化シリコン薄膜パターニングによって形成されるアライメントマーク（図示せず）を基準に、次工程のアライメントを行うことができる。

【 0 0 7 4 】

図 2 0 (b) シリコン薄膜への露光と同時に露光／非露光による改質の相違を利用した結晶化アライメントマークT9'をシリコン薄膜に形成する。

【 0 0 7 5 】

図 2 0 (d) 結晶化アライメントマークT9'を利用して、フォトリソグラフィ時の目合わせを行い、エッチング工程を経てシリコン薄膜と酸化シリコン膜積層膜のアイランドを形成する。

【 0 0 7 6 】

図 2 1 は、非晶質半導体を同期パルスによって加熱してレーザアニールを行うレーザアニール装置であり、所望の波長及び波形のレーザ光を発生するレーザ発振装置 3 1 1 0 と、レーザ発生部 3 1 1 0 からのレーザ光を利用して基板Wを実際に加工するレーザ照射処理部 3 1 2 0 と、これらの動作を統括的に制御する主制御装置 3 1 3 0 とを備える。なお、被加工体である基板Wは、ガラス板等からなり、その表面には、例えば非晶質半導体である非晶質 S i 層が堆積されており、このようなレーザ光による加工によって非晶質 S i 層にあってはこれが多結晶

Si 層になる。

【0077】

レーザ発生部 3110 は、パルスタイプのレーザ光を発生する一対のレーザ発振装置 3111、3112 と、これらレーザ発振装置 3111、3112 の発振タイミングを個別に制御して一対のパルス光を適当な時間差で発生させる遅延制御部である発振制御装置 3113 とを備える。ここで、第 1 レーザ発振装置 3111 は、基板 W の加工に際して最初に照射される主たるレーザ装置であり、第 2 レーザ発振装置 3112 は、基板 W の加工に際して次に照射される従たるレーザ装置である。第 1 及び第 2 レーザ発振装置 3111、3112 からの各レーザ光は、基板 W の加工に最適となるように時間差及びパワーが適宜調整されており、両パルス光 PL を光合成系 3170 を介して重ね合わせるにより加工用の同期パルス光となる。

【0078】

発振制御装置 3113 は、コンピュータ、信号整形回路等から構成されており、基準パルスを発生する基準パルス発生回路 3151 と、同期パルス光を構成する一対のパルス光 PL の発生間隔すなわち時間差を予め設定するディレイ時間設定回路 3152 と、ディレイ時間設定回路 3152 等からの信号出力に基づいて第 1 及び第 2 レーザ発振装置 3111、3112 の動作タイミングを設定するとともにこれに相当する指令信号を発生する演算回路 3153 と、演算回路 3153 からの指令信号の出力を受けて第 1 及び第 2 レーザ発振装置 3111、3112 を発振させるための第 1 及び第 2 トリガ信号を発生するトリガパルス発生回路 3154 と、第 1 及び第 2 レーザ発振装置 3111、3112 のレーザ出力をそれぞれ高速で光電変換する光検出装置である第 1 及び第 2 フォトセンサ 3161、3162 と、第 1 及び第 2 のフォトセンサ 3161、3162 からの出力を個別に増幅する一対のアンプ 3163、3164 と、両アンプ 3163、3164 からの光検出信号を受けて両光検出信号の時間差を検出するディレイ時間検出回路 3155 とを備える。

【0079】

ディレイ時間設定回路 3152 は、第 1 及び第 2 レーザ発振装置 3111、3

112からのレーザ光を重ね合わせた同期パルスの波形が基板Wの加工に最適となるような時間差（以下、設定時間差 t_1 ）を設定する。このような設定時間差 t_1 は、外部からキーボード等を介して入力すること、或いは基板Wの種類に応じて予め記憶した設定値を読み出すことで設定できる。

【0080】

演算回路3153は、ディレイ時間設定回路3152で設定された設定時間差 t_1 に対応する指令信号S2を発生する。また、ディレイ時間検出回路3155からの測定時間差 t_3 の出力に基づいて、設定時間差 t_1 に修正を加えた修正時間差 t_2 を算出し、この設定時間差 t_2 に対応する指令信号S2'を発生する。

【0081】

トリガパルス発生回路3154は、演算回路3153が出力する指令信号S2（S2'）を受けて適当な信号処理を行い、基準パルス発生回路3151からの基準パルスをトリガとして、第1及び第2レーザ発振装置3111、3112を発振させるための第1及び第2トリガ信号Tr1、Tr2を、それぞれ個別に時間差 t_1 （ t_2 ）だけずらして発生する。

【0082】

ディレイ時間検出回路3155は、両アンプ3163、3164からの一对の光検出信号を所定の閾値で切り出すとともに、その立ち上がりのタイミングの差から第1及び第2レーザ発振装置3111、3112が出力する一对のレーザ光間のディレイ時間 t_3 を検出する。

【0083】

レーザ照射処理部3120には、レーザ発生部3110から出射し、ミラー3171、3172、ハーフミラー3173等からなる光合成系3170を経て合成された同期パルス光が入射する。このレーザ照射処理部3120は、同期パルス光を所望の断面形状及びエネルギー密度分布のビームとして基板W上に投影する投影光学系3121と、基板Wを支持して走査に際して基板Wとともに移動するステージ3122と、ステージ3122の動作を制御するステージ駆動系3123とを備える。

【0084】

以下、図 21 のレーザ加工装置の動作について説明する。主制御装置 3130 は、発振制御装置 3113 を制御して、第 1 及び第 2 レーザ発振装置 3111、3112 から設定時間差 t_1 だけずれた一対のパルス光 PL を発生させる。両パルス光 PL は、光合成系 3170 を介して重ね合わされ、所定の波形を有する加工用の同期パルス光として基板 W 上に照射される。同期パルス光は、基準パルス発生回路 3151 からの基準パルスをトリガとして発生するので、基準パルスの周期に対応する周期で同期パルス光の基板 W 上への照射が繰り返される。

【0085】

この際、ディレイ時間検出回路 3155 が出力するディレイ時間 t_3 をモニターすることで、実際のディレイ時間 t_3 が設定時間差 t_1 からどの程度ずれているかが分かり、このずれ量 Δt を減算した修正時間差 $t_2 = t_1 - \Delta t$ ($= 2 \times t_1 - t_3$) を新たな目標値とする。これにより、第 1 及び第 2 レーザ発振装置 3111、3112 からほぼ設定時間差 t_1 だけずれた一対のパルス光 PL を発生させることができる。つまり、第 1 及び第 2 レーザ発振装置 3111、3112 の応答特性、経時変化等の要因により、ディレイ時間検出回路 3155 が出力するディレイ時間 t_3' が所定の上限値又は下限値を超える場合、新たなずれ量 $\Delta t'$ を減算した修正時間差 $t_2' = t_1 - \Delta t'$ を新たな目標値とする。以上を繰り返すことにより、同期パルス光を構成する一対のパルス光 PL の時間間隔を常に一定に保つことができる。つまり、両レーザ発振装置 3111、3112 の特性が異なり、経時的な変化や動作条件の変更等によってトリガから発光までの応答時間にバラツキが生じる場合であっても、安定した波形の同期パルス光を基板 W 上に照射することができる。

【0086】

図 22 は、図 21 の装置の動作タイミングを説明するタイミングチャートである。図 22 (a) は、波形発生器 3151、3154 から出力されるトリガ信号 Tr1 を示し、図 22 (b) は、第 1 パルスレーザ発振器 3111 から射出されるパルス光 PL を示し、図 22 (c) は、トリガ遅延回路 3153、3154 から出力されるトリガ信号 Tr2 を示し、図 22 (d) は、第 2 パルスレーザ発振装置 3112 から射出されるパルス光 PL を示す。図からも明らかなように、ト

リガ遅延回路 3154, 3152 に遅延時間 T_s を設定すれば、理論上は、所期のパルス時間間隔 T_d ($=T_{d2}-T_{d1}+T_s+T_c$) となることが分かる。

【0087】

次に、本発明の一実施形態である焦点調節装置及び方法について説明する。

【0088】

図 23 は、実施形態の焦点調節装置を組み込んだレーザアニール装置の全体構造を説明する図である。このレーザアニール装置は、ガラス板上にアモルファス状 Si 等の半導体薄膜を形成した被加工体であるワーク W を熱処理するためのもので、かかる半導体薄膜を加熱するためのエキシマレーザその他のレーザ光 AL を発生するレーザ光源 3710 と、このレーザ光 AL をライン状或いはスポット状にして所定の照度でワーク W 上に入射させる加工光学系である照射光学系 3720 と、ワーク W を載置して X-Y 面内で滑らかに移動可能であるとともに X 軸及び Y 軸の回りに傾斜可能なステージ 3730 と、ワーク W を載置したステージ 3730 を照射光学系 3720 等に対して必要量だけ移動若しくは傾斜させる駆動手段であるステージ駆動装置 3740 と、レーザアニール装置の各部の動作を統括的に制御する主制御装置 3780 とを備える。ここで、ステージ 3730 及びステージ駆動装置 3740 は、ステージ装置を構成し、ワーク W 周辺を減圧したりその雰囲気調節するチャンバ 3790 中に收容される。このチャンバ 3790 は、除振装置 3792 を介して床上に設置されている。

【0089】

さらに、このレーザアニール装置は、焦点調節装置として、上記ステージ 3730、ステージ駆動装置 3740 及び主制御装置 3780 のほか、ステージ 3730 の移動量を光学的な情報や電氣的な情報として検出する移動量計測装置 3750 と、ステージ 3730 のステージ駆動装置 3740 に対する高さや傾斜量を光学的な情報や電氣的な情報として検出する傾斜計測装置 3760 と、ワーク W の照射光学系 3720 に対する高さや傾斜量に対応する信号を検出する非接触変位計 3770 とを備える。

【0090】

ここで、照射光学系 3720 は、レーザ光源 3710 からミラー 3715 を経

て入射するレーザ光ALを均一な分布とするホモジナイザ3720aと、ホモジナイザ3720aを経たレーザ光ALを所定のビーム形状に絞るスリットを有するマスク3720bと、マスク3720bのスリット像をワークW上に縮小投影する投影レンズ3720cとからなる。なお、照射光学系3720は、チャンバ3790に設けた透過窓3790aを介してワークWに対向するように配置されており、図示を省略する部材によってチャンバ3790側に固定されている。

【0091】

ステージ駆動装置3740は、ステージ3730をX軸及びY軸の回りに傾斜させるチルト装置3742と、ステージ3730をチルト装置3742とともにX-Y面内で滑らかに移動させる並進装置3744とを備える。ここで、チルト装置3742は、ベローズ内部にシリンダを収容して任意の長さに伸縮自在である3つの支持部材3742aと、支持部材3742aを伸縮動作させる支持部材駆動装置3742bとを備える。これら3つの支持部材3742aの長さを支持部材駆動装置3742bを介して調節することにより、照射光学系3720に対するステージ3730の傾きや距離を適宜微調整することができる。つまり、照射光学系3720に対するワークWのZ軸方向の位置（距離）と、X軸回りのチルト角 θ_X と、Y軸回りのチルト角 θ_Y とを調整することができる。なお、ステージ3730直下にチルト装置3742側から延びている3つの傾斜計測装置3760は、渦電流式センサ或いは静電容量センサであり、これらの出力から、ステージ3730がステージ駆動装置3740に対してどの程度傾斜しているかが正確に分かるようになっている。

【0092】

非接触変位計3770は、レーザ変位計であり、ワークW上の平坦な領域を計測ターゲットTとして検査光DLを入射させる投光手段である投光部3771と、計測ターゲットTからの正反射光RLを受けてこの正反射光RLの入射位置に関する情報を出力する受光手段である受光部3772とを備える。投光部3771と受光部3772とは、照射光学系3720を挟んで対向して配置される。つまり、投光部3771は、照射光学系3720の光軸に対して所定の角度だけ傾いた方向に検査光DLを出射し、受光部3772には、照射光学系3720の光

軸に対して検査光DLとは反対の方向に上記所定角度だけ傾いた方向に進行する反射光RLが入射する。なお、主制御装置3780は、受光部3772で検出された入射位置に関する情報に基づいて計測ターゲットTの高さに対応する情報を含む計測値を得る換算手段としても機能し、非接触変位計3770の一部を構成する。

【0093】

ここで、投光部3771は、検査光を発生する光源と投光光学系とを備え、透過窓3790aを介してワークW上の計測ターゲットTに検査光DLのスポット状のビームを入射させる。一方、受光部3772は、この計測ターゲットTからの反射光RLを集光する結像光学系と集光後の反射光RLが入射するラインセンサとを備える。このラインセンサは、X-Z面内で反射光RLの光軸に垂直な方向に延びており、ワークWの高さ位置がラインセンサからの位置検出信号と線形な関係になることを利用してワークWの高さ位置の変化を検出する。ただし、ワークWが照射光学系3720の光軸に対して傾いているとき、非接触変位計3770の出力は、ワークWの高さ位置だけでなく、ワークWの傾きを反映したものとなっている。したがって、後に詳述するが、チルト装置3742を利用して一旦ワークWの傾きを補正してワークWの法線が照射光学系3720の光軸と平行になった時点で、チルト装置3742を構成する3つの支持部材3742aを同量だけ伸縮させてワークWと照射光学系3720との間隔を調整することになる。

【0094】

計測ターゲットT1、T2、T3は、正三角形の頂点の位置に配置されており、それぞれがワークW上の加工領域（図の場合、ワークWの中央）から等距離に設定されている。並進装置3744の制御によって、投光部3771からの検査光DLをワークW上の各計測ターゲットT1、T2、T3に順次入射させることができる。ワークWの傾きを補正する際には、各計測ターゲットT1、T2、T3における受光部3772の出力を平均化するようにチルト装置3742を動作させる。なお、各計測ターゲットT1、T2、T3の配置や個数は、要求される精度等に応じて適宜変更することができる。特にワークW表面に反り等の変形がある場合

、対象とする加工領域ごとにその近傍で 3 つ以上の計測ターゲットを改めて選択する必要がある。また、以上で説明した計測ターゲット T1、T2、T3は、単に平坦面であれば足り、正反射光を形成できる限り、特定のマークを形成する必要はない。

【 0 0 9 5 】

以下、本実施形態のレーザアニール装置の動作について説明する。まず、レーザアニール装置のステージ 3 7 3 0 上にワーク W を搬送して載置する。次に、アニール用のレーザ光 A L を導く照射光学系 3 7 2 0 に対してステージ 3 7 3 0 上のワーク W をアライメントする。次に、照射光学系 3 7 2 0 のマスク 3 7 2 0 b を移動させながら、或いは照射光学系 3 7 2 0 に対してステージ 3 7 3 0 を適宜移動させながら、レーザ光源 3 7 1 0 からのレーザ光 A L をライン状或いはスポット状にしてワーク W 上に入射させる。ワーク W 上には、アモルファス S i 等の非晶質半導体の薄膜が形成されており、レーザ光 A L の照射及び走査によって半導体の所望領域がアニール、再結晶化され、電気的特性の優れた半導体薄膜を提供することができる。

【 0 0 9 6 】

ステージ 3 7 3 0 上のワーク W の高さ及び傾きを照射光学系 3 7 2 0 に対してアライメントする動作についてより詳細に説明する。まず、加工領域を中心とする正三角形の頂点 3 点を計測ターゲット T1、T2、T3 と定める。並進装置 3 7 4 4 の制御によってワーク W を X Y 面内で適宜移動させ、ワーク W 上の各計測ターゲット T1、T2、T3 を非接触変位計 3 7 7 0 の計測点に順次移動させ、投光部 3 7 7 1 からの検査光 D L を各計測ターゲット T1、T2、T3 に入射させる。各計測ターゲット T1、T2、T3 からの反射光 R L は、受光部 3 7 7 2 で入射位置に相当する信号に変換される。主制御装置 3 7 8 0 では、受光部 3 7 7 2 からの入射位置に関する信号に基づいて各計測ターゲット T1、T2、T3 の高さに関する計測値を得る。3 点 T1、T2、T3 の計測結果については、いずれにも傾きによる誤差が含まれていると考えられるが、ここではそれを無視して、3 点 T1、T2、T3 の高さが同じ値になるようチルト装置 3 7 4 2 によりワーク W のチルト角 θX 、 θY を調整する。再び、並進装置 3 7 4 4 によってワーク W を X Y 面内

で適宜移動させ、ワークW上の各計測ターゲットT1、T2、T3について高さに関する計測値を得る。このようにして、3点T1、T2、T3の高さ計測とチルト角の調整とを繰り返すことにより、傾きによる高さ計測の誤差は徐々に小さくなる。最終的に3点T1、T2、T3の計測値が一致した状態では、 $\theta X=0$ 、 $\theta Y=0$ となって傾き0の状態となる。このときのいずれか1点の高さ計測値がワークW上の加工領域の高さとなる。最後に、チルト装置3742をZステージとして動作させ、目的の高さになるよまでステージ3730すなわちワークWを昇降させる。

【0097】

以上実施形態に即してこの発明を説明したが、この発明は上記実施形態に限定されるものではない。例えば、非接触変位計3770を3つ以上設けることもできる。この場合は、各非接触変位計3770によってワークW上の異なる3を同時に計測することができるようにする。これにより、並進装置3744によってワークWを移動させることなくワークWの傾きを迅速に修正できるようになる。

【0098】

また、上記実施形態では、チルト装置3742をZステージとして動作させたが、Zステージを独立に設けてワークWのチルト調整と高さ調整とを完全に分離して行うこともできる。

【0099】

また、上記実施形態では、ワークWをガラス基板に半導体薄膜を形成したものとしているが、正反射光が得られるものであれば、ワークWの素材は問わない。

【0100】

また、上記の焦点調節装置は、レーザ光ALを用いてワークW上の半導体層をアニーリングするレーザアニール装置に組み込んだが、レーザ光源3710や照射光学系3720等の構造を適宜変更すれば、半導体材料のアニールのみならず各種材料の改質、切断、溶着等を可能にするパルスレーザ加工装置等とすることもできる。

【0101】

本発明を適用した複合機の概略構成を図24に示す。ここでは、一次処理装置

として、ガラス基板（ワーク）に被膜形成処理を行う C V D 装置 3 9 1 0 が使用され、二次処理装置として、被膜形成処理されたガラス基板にレーザアニーリングを行うレーザアニーリング装置 3 9 2 0 が使用される場合について説明する。

【 0 1 0 2 】

レーザアニーリング装置 3 9 2 0 は、密封の可能なプロセスチャンバ 3 9 2 1 を備えている。プロセスチャンバ 3 9 2 1 内には、被膜形成処理されたガラス基板 3 9 0 1 を搭載するためのプロセスステージ 3 9 2 2 が設置されている。プロセスチャンバ 3 9 2 1 の天井壁には、後述するレーザ照射系からのレーザビームを透過するための透過窓 3 9 2 3 が設けられている。プロセスチャンバ 3 9 2 1 の上方には、架台 3 9 2 4 によりレーザ照射系 3 9 2 5 が構成されている。

【 0 1 0 3 】

レーザ照射系 3 9 2 5 は、レーザ発振器 3 9 2 6 で発生されたレーザビームを反射ミラー 3 9 2 7 を介して受け、所定の断面形状に整形してガラス基板 3 9 0 1 に焦点を結ぶように照射するためのものである。ここでは、矩形ビーム用の構成のみを示しており、長尺ビーム用の構成については後述する。

【 0 1 0 4 】

矩形ビーム用の構成要素として、マスクを搭載しているマスクステージ 3 9 2 8、光学レンズ系 3 9 2 9、センサ 3 9 3 0 等を備えている。センサ 3 9 3 0 は、ガラス基板 3 9 0 1 上でのビームの焦点位置を検出するためのものであり、焦点位置を精度良く合わせるために用いられる。

【 0 1 0 5 】

このようなレーザアニーリング装置 3 9 2 0 が、後述する複数の除振台 3 9 4 0 を介して床 3 9 5 0 に設置されている。

【 0 1 0 6 】

C V D 装置 3 9 1 0 とプロセスチャンバ 3 9 2 1 との間は、搬送機構としての基板搬送ロボット 3 9 6 0 を収容しているトランスファチャンバ 3 9 7 0 を介して連結されている。特に、図 2 5 に示されるように、プロセスチャンバ 3 9 2 1 とトランスファチャンバ 3 9 7 0 との間は、ベローズ 3 9 7 1 によって連結するようにしている。なお、プロセスチャンバ 3 9 2 1 とトランスファチャンバ 3 9

70との連結部は、基板搬送ロボット3960によってCVD装置3910内のガラス基板を把持してプロセスチャンバ3921内に受け渡す部分であり、プロセスチャンバ3921内を真空またはある一定圧力に保つために大気と遮断する必要があり、ベローズ3971がその機能を果たしている。また、トランスファチャンバ3970には、CVD装置3910内とプロセスチャンバ3921内とが連通状態になることを防止するためにゲートバルブ機構が必要となるが、このようなゲートバルブ機構は周知であるので、図示説明は省略する。

【0107】

次に、図26、図27を参照して、本発明による除振装置の主要部である除振台3940の構造について説明する。除振台3940は、プロセスチャンバ3921が搭載される上部台座4241と、エア式ダンパ4242とが除振ゴム4243を介して連結されている。エア式ダンパ4242には、コンプレッサ4244からの圧縮空気が制御バルブ4245を経由して供給される。エア式ダンパ4242内には、導入された圧縮空気に応じて上下動するピストン部4246と、振動時のピストン部4246の下側リミット位置を規定するための第1のストッパ部材4247とが配置されている。

【0108】

上部台座4241には、除振台3940の動作のオン、オフを規定すると共に、除振台3940の上限リミット位置、厳密に言えばエア式ダンパ4242を収容している容器の高さ方向の上限リミット位置を規定するための第2のストッパ部材4148が設けられている。一方、エア式ダンパ4242を収容している容器には、第2のストッパ部材4148との間の相対距離を検出するための位置検出器4149が設けられている。位置検出器4149はまた、プロセスチャンバ3921あるいはエア式ダンパ4242を収容している容器の変位量があらかじめ定められた許容範囲を越えると、図26に示すように、その一部が第2のストッパ部材4148に係合してリミットがかかる。

【0109】

位置検出器4149からの検出信号はフィードバック信号として制御装置42100に送出される。制御装置42100は、検出信号で示される第2のストッ

バ部材 4148 と位置検出器 4149 との間の相対距離に応じて制御バルブ 4245 を制御して、プロセスチャンバ 3921 の振動を除去するように除振台 3940 を動作させる。

【0110】

制御装置 42100 は特に、上記の相対距離が所定値以下、例えば位置検出器 4149 の一部が第 2 のストッパ部材 4148 に当接したことを検出すると、制御バルブ 4245 に対する制御動作を停止して除振機能を停止させる。位置検出器 4149 の一部が第 2 のストッパ部材 4148 に当接したということは、上部台座 4241 あるいはエア式ダンパ 4242 の上下動が許容範囲を越える値に達したことを意味する。なお、第 2 のストッパ部材 4148 は、ねじ等の調整手段により上下方向の位置が可変となるように構成されている。

【0111】

以上の説明で理解できるように、各除振台 3940 は、第 2 のストッパ部材 4148 と位置検出器 4149 との間の相対距離が変化すると、除振性能を決める圧縮空気の圧力を制御して、振動を除去するフィードバック制御機能を持つ。そして、上部台座 4241 あるいはエア式ダンパ 4242 の上下動が許容範囲を越えると、フィードバック制御機能が働かなくなるようにしている。第 2 のストッパ部材 4148 の位置は手動で上下に動かすことができ、どの位置で除振機能を停止させるかを任意に設定できる。

【0112】

すなわち、除振台 3940 の機能は、ピストン部材 4246 が第 1 のストッパ部材 4247 に当たる位置から、位置検出器 4149 の一部が第 2 のストッパ部材 4148 に当たる位置まで発揮される。この距離を $200\mu\text{m}$ とれば、除振台 3940 は $\pm 100\mu\text{m}$ の上下動の範囲内で機能することになる。

【0113】

ここで、矩形ビームを使用しての精度の高いスキャン時の動作について説明する。矩形ビームを使用して処理を行う際に、プロセスチャンバ 3921 における振動は CVD 装置 3910 あるいは床 3950 から伝わるものが主である。この振動は大きくても高々 \pm 数十 μm の振幅であり、スキャンに起因してベローズ 3

971が大きく変位することはない。そこで、矩形ビームを使用してスキャンしている時に間違いなく除振機能が働くように、除振台3940の第2のストッパ部材4148と位置検出器4149との相対距離を、例えば200 μ mというように予想される変位より少し大きめに設定しておく。この場合、床3950からの振動はフィードバック制御機能によって複数の除振台3940が吸収し、CVD装置3910からの振動はベローズ3971が吸収する。

【0114】

次に、長尺ビームを使用時の精度の低いスキャン時の除振性能について説明する。長尺ビームにより処理を行う時には、プロセスチャンバ3921内のプロセスステージ3922が動くので、プロセスチャンバ3921内のプロセスステージ3922の重心位置がずれ、全体に大きく傾きやすい。傾きが小さい場合は矩形ビームによる処理時と同じ除振機能が働くが、傾きが大きくなると第2のストッパ部材4148によるリミットがかかり、除振台3940は機能しなくなる。除振台3940が機能しないとプロセスチャンバ3921とベローズ3971とは一体に変位するので、プロセスチャンバ3921とベローズ3971の相対位置のずれはなくなり、変位量が大きくてもベローズ3971が破壊されることはない。なお、長尺ビームによるスキャン精度は矩形ビームに比べ数十倍の振動を許容するためスキャン精度に大きな影響は与えない。

【0115】

図28～図29を参照して、本発明による真空内リニアアクチュエータ機構のうち、機械構成についてその実施の形態を説明する。ここでは、レーザアニリング用の真空チャンバ内に配置されるのに適した構成について説明する。真空チャンバについては、図30に象徴的に破線43100で示しており、大気圧から 1.0×10^{-6} Torrまでの雰囲気下で使用可能なものであれば良い。

【0116】

真空チャンバ43100内の底部に固定ベース部材としてのステージベース4309が設置されている。ステージベース4309には、離れた位置においてY軸方向に平行に延びるようにY軸リニアベアリング4315、4320が取り付けられている。Y軸リニアベアリング4315、4320は、それらの上に組み

合わされるY軸ベース4314をY軸方向に直線案内するためのものである。Y軸ベース4314には、離れた位置においてX軸方向に平行に延びるように一对のX軸リニアベアリング4307が取り付けられている。X軸リニアベアリング4307は、それらの上に組み合わされるX軸ベース4306をX軸方向に直線案内するためのものである。X軸ベース4306には、加熱用のヒータを内蔵しているステージ4302を支持しているトロリ4403が取り付けられ、ステージ4302上にはワーク（ガラス等）4301を載せる構成となっている。

【0117】

X軸ベース4306は、X軸リニアベアリング4307に隣接してY軸ベース4314に設けられた一对のX軸リニアモータ4408により駆動される。X軸ベース4306の位置は、一方のX軸リニアモータ4408に隣接してY軸ベース4314に設置されたX軸リニアエンコーダ4410により検出される。これにより、X軸ベース4306を直接駆動すると共に、位置を直接計測することになり、従来のバックラッシュによる精度劣化等がなくなり、高速応答化が可能となっている。

【0118】

Y軸ベース4314は、ステージベース4309上に設けられた、各々独立に制御可能な2本のリニアモータ4318、4323で駆動される。Y軸ベース4314の位置は、リニアモータ4318、4323に隣接してステージベース4309に配置された2本のリニアエンコーダ4316、4321により互いに反対側の2箇所において検出される。これにより、X軸と同様にバックラッシュ等による精度劣化がなく、高速応答化が可能となっている。また、Y軸ベース4314の互いに反対端部における2箇所においてリニアエンコーダ4316、4321によりY軸方向の位置を検出することで、各々の検出値の差によりY軸ベース4314の微小回転を検出・制御することができる。Y軸ベース4314の微小回転というのは、X軸、Y軸に直角なZ軸回りの回転であり、以下、これをZ軸回りの回転 θ と呼ぶ。

【0119】

ステージ4302のヒータからの輻射熱がX軸ベース4306や、Y軸ベース

4 3 1 4 に伝達されるのを防止するために、トロリ 4 4 0 3 と X 軸ベース 4 3 0 6 との間には、水冷板 4 3 0 4 が設けられている。また、X 軸ベース 4 3 0 6 にも水冷機構が内蔵されており、ステージ 4 3 0 2 のヒータからの輻射熱によるリニアベアリング等のトラブルを防止している。更に、ステージ動作中に発熱する各リニアモータのコイルは、各リニアモータに設けた X 軸モータコイル冷却板 4 4 1 1、Y 軸モータコイル冷却板 4 3 1 9、4 3 2 4 により冷却する構成としている。また、X 軸リニアエンコーダ 4 3 1 0、Y 軸リニアエンコーダ 4 3 1 6、4 3 2 1 に関しても、熱変形による破損・精度劣化を防ぐために、それぞれに X 軸エンコーダ冷却板 4 4 1 2、Y 軸エンコーダ冷却板 4 3 1 7、4 3 2 2 を設けることにより一定温度に保持する構成としている。

【0 1 2 0】

なお、移動する X 軸リニアエンコーダ 4 4 1 0、Y 軸リニアエンコーダ 4 3 1 6、4 3 2 1 から固定部に検出信号用のケーブルを導出するために、X 軸リニアエンコーダ 4 4 1 0 に対応してケーブルガイド 4 4 1 3 が設けられ、Y 軸リニアエンコーダ 4 3 1 6、4 3 2 1 に対応してそれぞれケーブルガイド 4 3 2 5 が設けられる。

【0 1 2 1】

図 3 1、図 3 2 を参照して、本発明によるマスクステージ駆動機構の実施の形態について説明する。上部から順にステージ構成を説明すると、中央部に大きな円形の開口を持つベースプレート 4 6 0 1 が図示しない固定部に固定される。ベースプレート 4 6 0 1 の開口の縁部にクロスローラベアリング 4 7 0 3 が取り付けられている。ベースプレート 4 6 0 1 の下面側には、クロスローラベアリング 4 7 0 3 を介して θ 軸、すなわち Z 軸回りに回動可能に θ 軸可動部 4 6 0 4 が設けられている。 θ 軸可動部 4 6 0 4 の中央部にもベースプレート 4 6 0 1 の開口に対応する開口が設けられている。 θ 軸可動部 4 6 0 4 の下面側には、Y 軸方向に平行に延びる一对の Y 軸リニアベアリング 4 7 0 6 を介して Y 軸方向に移動可能なように Y 軸可動部 4 7 0 7 が取り付けられている。Y 軸可動部 4 7 0 7 の中央部にもベースプレート 4 6 0 1 の開口に対応する開口が設けられている。

【0 1 2 2】

Y軸可動部4707には、Y軸リニアベアリング4706の設置スペースを確保するために形成された空間を利用して、X軸可動部4610が設けられている。X軸可動部4610は、リフト用エアベアリング4611及びヨーガイド用エアベアリング4615、4616によりX軸方向に関して案内される。X軸可動部4610の中央部にもベースプレート4601の開口に対応する開口が設けられている。

【0123】

詳しく説明すると、X軸可動部4610は、 θ 軸可動部4604とY軸可動部4707との間であって、Y軸可動部4707におけるX軸可動部4610との対向面に設けられた複数のリフト用エアベアリング4611を介してX軸の方向に可動に構成されている。リフト用エアベアリング4611は、圧縮空気をX軸可動部4610の下面に吹き付けることでX軸可動部4610を浮上させるためのものであり、ここでは、X軸可動部4610の中心に関して120度の角度間隔をおいて3個設けられている。

【0124】

また、X軸可動部4610は磁性材料で構成され、Y軸可動部4707におけるX軸可動部4610との対向面には更に、複数箇所に吸引用のマグネット4618が配置されている。特に、マグネット4618は、リフト用エアベアリング4611の周囲に3個ずつ、合計9個配置されている。更に、X軸可動部4610は、X軸の方向に平行な2つの端縁部を有し、これら2つの端縁部をそれぞれ、Y軸可動部4707に設けたヨーガイド用エアベアリング4615、4616によりX軸方向の移動を案内するように構成されている。ヨーガイド用エアベアリング4615、4616はそれぞれ、X軸可動部4610の1つの端縁部に対して2つずつ設けられている。加えて、X軸可動部4610における一方の端縁部側に設けられた2つのヨーガイド用エアベアリング4616にはそれぞれ、プリロード用のピストン4620が組み合わされ、前記一方の端縁部に対してプリロードがかけられている。X軸可動部4610には、ボス4710-1を介してマスクステージ4730が組み合わされている。マスクステージ4730は、その中央にベースプレート4601の開口よりやや小さな開口を有すると共に、Y

軸可動部 4707 の下面側から突出しており、その下端部には、マスク 4714 の保持部を有する。

【0125】

以上の構成により、X軸、Y軸、 θ 軸の3自由度マスクステージを構成している。 θ 軸駆動モータ 4605 の出力軸が θ 軸駆動モータ 4605 の回転に応じて軸方向に移動し、 θ 軸駆動プレート 4619 を押す。このことにより、 θ 軸可動部 4604 は、その中心に関してZ軸回りの反時計方向に回転する。なお、 θ 軸駆動モータ 4605 の出力軸は駆動プレート 4619 に固定されていない。このため、ベースプレート 4601 と θ 軸可動部 4604 との間に引っ張りバネ 4617 を設けて時計回り方向のプリロードをかける構成とし、クロスローラベアリング 4703 の摩擦等によりバックラッシュ及び回転不良等が発生することを防いでいる。 θ 軸可動部 4604 の回転角は、 θ 軸可動部 4604 に取り付けられて一体的に回転する回転軸 4704-1 に組み合わせた中空のロータリエンコーダ 4702 により計測し、精度を確保している。

【0126】

Y軸可動部 4707 は、 θ 軸可動部 4604 の端部とY軸可動部 4707 の端部との間に配設されたY軸リニアモータ 4608 によりY軸方向に駆動される。Y軸可動部 4707 の位置は、Y軸リニアモータ 4608 の近傍に配置されたY軸リニアエンコーダ 4709 により計測される。X軸可動部 4610 は、X軸リニアモータ 4713 により駆動される。X軸リニアモータ 4713 は、Y軸可動部 4707 の下面側に配置されており、その可動部分がボス 4710-1 と連結されていることにより、X軸可動部 4610 とボス 4710-1 とがX軸方向に駆動される。X軸可動部 4610 の位置は、Y軸可動部 4707 の下面側とボス 4710-1 との間に配置されたX軸リニアエンコーダ 4612 により計測される。

【0127】

X軸可動部 4610 の案内機構の詳細について述べる。中央部の開口を光路として、マスク 4714 の下方に配置されたワーク（図示せず）にレーザ光を照射しながら一定速度で移動するスキヤニングを行うため、X軸可動部 4610 は高

い軌跡追従性能と位置決め精度が要求される。そのため、X軸可動部4610の案内機構には、静圧軸受けが採用されている。X軸可動部4610の案内機構の構成は、上下方向（ラジアル）と横方向の2つの案内機構により構成される。上下方向案内の静圧軸受けは、Y軸可動部4707に取り付けられたリフト用エアベアリング4611とX軸可動部4610の案内面とで構成される。特に、高い案内剛性が得られる隙間（ $5 \sim 10 \mu\text{m}$ 程度）を維持するために、Y軸可動部4707に取り付けた複数のマグネット4618の吸引力によりプリロードをかける構成としている。

【0128】

通常、エアベアリングは可動部側に固定するが、X軸可動部4610の必要ストロークが短い点を生かし、リフト用エアベアリング4611をX軸可動部4610ではなく、X軸可動部4610のベースとなるY軸可動部4707側に固定する構成としている。これにより、X軸可動部4610の重量低減をはかり、移動時の外乱となるエアベアリングへのエア供給チューブの接続数を減らしている。

【0129】

X軸可動部4610の横方向案内の静圧軸受けは、X軸可動部4610に取り付けた2組のヨーガイド用エアベアリング4615、4616で、X軸可動部4610を挟み込む形で構成される。2個のヨーガイド用エアベアリング4615は、各々アジャストボルト4621により支持される。アジャストボルト4621はX軸可動部4610に取り付けられて、その先端がヨーガイド用エアベアリング4615に当接しており、その出し入れ量を調整することにより、X軸可動部4610の横方向の姿勢を調整することができる。

【0130】

ヨーガイド用エアベアリング4615とは反対側に取り付けられたヨーガイド用エアベアリング4616は、プリロード用ピストン4620により支持され、一定の力により支持されている。このため、X軸可動部4610やY軸可動部4707などの熱変形、機械加工精度、組立誤差等の影響を受けることなく、一定の静圧軸受け隙間を維持することが可能な構成となっている。

【0131】

全てのエアベアリングの支持点は、セラミック球により球面支持されており、相手面のうねり、熱変形等、エアベアリング面と相手面の平行度が失われても、ある程度吸収できるような構成としている。

【0132】

本発明による空気圧式チルト機構を備えた真空チャンバ用ステージ装置の概略図を図33、図34に示す。このステージ装置は、真空あるいは減圧状態を得ることのできる真空チャンバ内に設置されるが、ここでは、真空チャンバは図示を省略している。

【0133】

本発明による空気圧式チルト機構は、ベース5102上に空気圧駆動方式の3台のペローズシリンダ5104-1、5104-2、5104-3と板ばね5103とを配置し、これらでステージ5201を支持する構造となっている。板ばね5103は十文字の形状をしており、板ばね5103の中央部（交差部）をステージ5201の下面に設けた台状部にボルト等により固定している。また、板ばね5103の4つの端部をそれぞれ、支持台5202-1を介してベース2側に固定している。

【0134】

ペローズシリンダ5104-1～5104-3は、空気圧シリンダをペローズにて封止して成り、空気圧シリンダから空気漏れがあっても漏れ空気が真空チャンバ内に流入しないように構成されている。

【0135】

本空気圧式チルト機構は、板ばね5103によりステージ5201を支持し、各ペローズシリンダ5104-1～5104-3に圧縮空気を送ることによってペローズシリンダ5104-1～5104-3を伸縮させ、ステージ5201の高さ、傾きを調整する。

【0136】

図35は、照射光学系5420の構成を説明する図である。レーザ光源（図示せず）からのレーザ光ALが入射するホモジナイザ5421は、縦横のビームサ

イズを独立にコントロールするための第1～第4シリンドリカルレンズアレイC A1～C A4と、集光のためのコンデンサレンズ5 5 2 1 aとからなる。ここで、第1及び第3シリンドリカルレンズアレイC A1、C A3は、紙面に平行な断面に曲率を有し、第2及び第4シリンドリカルレンズアレイC A2、C A4は、紙面に垂直な断面に曲率を有する。

【0137】

ホモジナイザ5 4 2 1からのレーザ光A Lは、ターンミラー5 5 2 5を経て、マスク組立体5 4 2 2に入射する。このマスク組立体5 4 2 2は、レーザ光A Lによって照明されるとともにワークWに照射すべきパターンを下面5 5 8 0に形成したマスク5 5 2 2 aと、マスク5 5 2 2 aのパターンの光透過部（すなわち開口）の周囲にレーザ光A Lが入射して戻り光の原因となることを防止する反射部材5 5 2 2 bと、瞳位置を調節するフィールドレンズ5 5 2 2 cとからなる。ここで、反射部材5 5 2 2 bは、マスク5 5 2 2 aに対して傾いて配置されており、反射部材5 5 2 2 bの上面5 5 8 1からの反射光R Lは、光軸O Aから外れた方向に出射し、フィールドレンズ5 5 2 2 cを経てビームダンパ5 5 2 6に入射する。なお、フィールドレンズ5 5 2 2 cは、ホモジナイザ5 4 2 1の一部と考えることもできる。

【0138】

マスク5 5 2 2 aを通過したレーザ光A Lは、投影レンズ5 4 2 3に入射する。この投影レンズ5 4 2 3は、レーザ光A Lによって照明されたマスク5 5 2 2 aに形成された光透過パターンであるスリット像をワークWの加工面上に縮小投影、すなわち結像・転写する。

【0139】

次に、図3 6と図3 7を参照して本発明に係るC V D装置の第1の実施形態を説明する。図3 6において、このC V D装置では、好ましくはシランを材料ガスとして使用し、通常のT F T用ガラス基板7 1 1 1の上面にシリコン酸化膜をゲート絶縁膜として成膜する。C V D装置の容器7 1 1 2は、成膜処理を行う際、排気機構7 1 1 3によってその内部が所望の真空状態に保持される真空容器である。排気機構7 1 1 3は真空容器7 1 1 2に形成された排気ポート7 1 1 2 b-

1に接続されている。

【0140】

真空容器7112の内部には、上下方向の中間位置にほぼ水平な状態で導電性部材で作られた隔壁部7114が設けられており、平面形状が例えば方形の隔壁部7114の周縁部が真空容器7112の周囲壁部分に接触するように配置されている。真空容器7112の内部は隔壁部7114によって上下の2つの室に隔離される。上側の室はプラズマ生成空間7115を形成し、下側の室は成膜処理空間7116を形成する。隔壁部7114は、所望の特定の厚みを有し、かつ全体的に平板状の形態を有し、さらに真空容器7112の水平断面形状に類似した平面形状を有する。隔壁部7114には内部空間7124が形成されている。

【0141】

上記ガラス基板7111は、成膜処理空間7116に設けられた基板保持機構7117の上に配置されている。ガラス基板7111は隔壁部7114に実質的に平行であって、その成膜面（上面）が隔壁部7114の下面に対向するように配置されている。基板保持機構7117の電位は真空容器7112と同じ電位である接地電位に保持される。さらに基板保持機構7117の内部にはヒータ7118が設けられている。このヒータ7118によってガラス基板7111の温度は所定の温度に保持される。

【0142】

真空容器7112の構造を説明する。真空容器7112は、その組立性を良好にする観点から、プラズマ生成空間7115を形成する上容器7112aと、成膜処理空間7116を形成する下容器7112bとから構成される。上容器7112aと下容器7112bを組み合わせて真空容器7112を作るとき、両者の間に位置に隔壁部7114が設けられる。隔壁部7114は、その周縁部が、後述するごとく電極7120を設けるときに上容器7112aとの間に介設される環状絶縁部材7121、7122のうち下側の絶縁部材7122に接触するようにして取り付けられる。これによって、隔壁部7114の上側と下側に、隔離されたプラズマ生成空間7115と成膜処理空間7116が形成される。隔壁部7114と上容器7112aとによってプラズマ生成空間7115が形成される。

プラズマ生成空間 7115 においてプラズマ 7119 が生成されている領域は、前述の隔壁部 7114 と上容器 7112a とのほぼ中央位置に配置される板状の電極（高周波電極）7120 とから形成されている。電極 7120 には複数の孔 7120a が形成されている。隔壁部 7114 と電極 7120 は、上容器 7112a の側部内面に沿って設けられた 2 つの環状絶縁部材 7121、7122 によって支持され、固定される。環状絶縁部材 7121 には、外側からプラズマ生成空間 7115 へ酸素ガスを導入する導入パイプ 7123 が設けられている。導入パイプ 7123 は流量制御を行うマスフローコントローラ（図示せず）を介して酸素ガス供給源（図示せず）に接続されている。

【0143】

真空容器 7112 の内部は、隔壁部 7114 によってプラズマ生成空間 7115 と成膜処理空間 7116 に隔離されるが、隔壁部 7114 には所定条件を満たす複数の貫通孔 7125 が内部空間 7124 を貫通する状態で分散して形成されており、これらの貫通孔 7125 を介してのみプラズマ生成空間 7115 と成膜処理空間 7116 はつながっている。また隔壁部 7114 内に形成された内部空間 7124 は、材料ガスを分散させて均一に成膜処理空間 7116 に供給するための空間である。さらに隔壁部 7114 の下壁には材料ガスを成膜処理空間 7116 に供給する複数の拡散孔 7126 が形成されている。上記貫通孔 7125 または拡散孔 7126 はそれぞれ後述する所定の条件を満たすように作られている。また上記内部空間 7124 には、材料ガスを導入するための導入パイプ 7128 が接続されている。導入パイプ 7128 は側方から接続されるように配置されている。また内部空間 7124 の中には、材料ガスが拡散孔 7126 から均一に供給されるように、複数の孔 7127a を有するように穿孔された均一板 7127 がほぼ水平に設けられている。図 3.7 に示すごとく、均一板 7127 によって隔壁部 7114 の内部空間 7124 は上下の二つの空間 7124a、7124b に分けられている。導入パイプ 7128 で内部空間 7124 に導入される材料ガスは、上側の空間 7124a に導入され、均一板 7127 の孔 7127a を通って下側の空間 7124b に至り、さらに拡散孔 7126 を通って成膜処理空間 7116 に拡散されることになる。以上の構造に基づいて、成膜処理空間 7116

の全体にわたって材料ガスを均一に供給することが可能となる。

【0 1 4 4】

図 3 7 では隔壁部 7 1 1 4 の一部が拡大して示され、貫通孔 7 1 2 5 と拡散孔 7 1 2 6 と均一板 7 1 2 7 の要部が拡大して示される。貫通孔 7 1 2 5 は、一例として、プラズマ生成空間 7 1 1 5 側が大きな径を有し、成膜処理空間 7 1 1 6 側が絞られ、小さい径で作られている。

【0 1 4 5】

上容器 7 1 1 2 a の天井部には、電極 7 1 2 0 に接続された電力導入棒 7 1 2 9 が設けられている。電力導入棒 7 1 2 9 によって電極 7 1 2 0 に放電用高周波電力が給電される。電極 7 1 2 0 は高周波電極として機能する。電力導入棒 7 1 2 9 は絶縁物 7 1 3 1 で被われており、他の金属部分との絶縁が図られている。

【0 1 4 6】

上記のように構成された C V D 装置による成膜方法を説明する。図示しない搬送ロボットによってガラス基板 7 1 1 1 が真空容器 7 1 1 2 の内部に搬入され、基板保持機構 7 1 1 7 の上に配置される。真空容器 7 1 1 2 の内部は、排気機構 7 1 1 3 によって排気され、減圧されて所定の真空状態に保持される。次に、導入パイプ 7 1 2 3 を通して酸素ガスが真空容器 7 1 1 2 のプラズマ生成空間 7 1 1 5 に導入される。このとき酸素ガスの流量は外部のマスフローコントローラで制御される。式 (1), (2) を用いて、酸素ガスの流量 (Q_{O_2}) と圧力 (P_{O_2})、および温度 (T) から酸素の流速 (u) が求められる。

【0 1 4 7】

$$Q_{O_2} = \rho_{O_2} u A \quad \text{式 (1)}$$

$$P_{O_2} = (\rho_{O_2} R T) / M \quad \text{式 (2)}$$

一方、材料ガスであるシランが導入パイプ 7 1 2 8 を通して隔壁部 7 1 1 4 の内部空間 7 1 2 4 に導入される。シランは、最初に内部空間 7 1 2 4 の上側空間 7 1 2 4 a に導入され、均一板 7 1 2 7 で均一化されて下側部分 7 1 2 4 b に移動し、次に拡散孔 7 1 2 6 を通って成膜処理空間 7 1 1 6 に直接に、すなわちプラズマに接触することなく導入される。成膜処理空間 7 1 1 6 に設けられた基板保持機構 7 1 1 7 は、ヒータ 7 1 1 8 に通電が行われているため、予め所定温度

に保持されている。

【0148】

上記の状態、電極 7120 に対して電力導入棒 7129 を介して高周波電力が供給される。高周波電力によって放電が生じ、プラズマ生成空間 7115 内において電極 7120 の周囲に酸素プラズマ 7119 が生成される。酸素プラズマ 7119 を生成することで、中性の励起種であるラジカル（励起活性種）が生成される。

【0149】

基板 7111 の表面に成膜を行うとき、真空容器 7112 の内部空間は、導電材料で形成された隔壁部 7114 でプラズマ生成空間 7115 と成膜処理空間 7116 に隔離された構成において、プラズマ生成空間 7115 では酸素ガスを導入しかつ電極 7120 に高周波電力を供給して酸素プラズマ 7119 を生成し、他方、成膜処理空間 7116 では材料ガスであるシランが隔壁部 7114 の内部空間 7124 および拡散孔 7126 を通って直接に導入される。プラズマ生成空間 7115 で生成された酸素プラズマ 7119 中のラジカルは隔壁部 7114 の複数の貫通孔 7125 を通って成膜処理空間 7116 に導入されると共に、シランは隔壁部 7114 の内部空間 7124 および拡散孔 7126 を通って成膜処理空間 7116 に直接導入される。また成膜処理空間 7116 に直接導入されたシランは、貫通孔 7125 の有する形態に基づきプラズマ生成空間の側に逆拡散することが抑制される。このように、材料ガスであるシランを成膜処理空間 7116 に導入するときシランが直接に酸素プラズマ 7119 に触れることはなく、シランと酸素プラズマとが激しく反応することが防止される。かくして、成膜処理空間 7116 において、隔壁部 7114 の下面に対向して配置された基板 7111 の表面にシリコン酸化膜が成膜される。

【0150】

上記の構造において、隔壁部 7114 の複数の貫通孔 7125 の大きさ等の形態は、プラズマ生成空間 7115 における酸素ガスを貫通孔中の物質移動流れとし、成膜処理空間 7116 におけるシランが、貫通孔 7125 を通って反対側の空間に拡散移動を行うことを想定するとき、その移動量を所望範囲に制限するよ

うに決められている。すなわち、例えば、温度 T における隔壁部 7114 の貫通孔 7125 を流れる酸素ガスとシランに関してその相互ガス拡散係数を D とし、かつ貫通孔 7125 の最小径部分の長さ（貫通孔の特徴的長さ）を L とするとき、ガス流速（ガスの流速 u とする）を用いて、 $uL/D > 1$ の関係が満たされるように決められる。以上の貫通孔の形態に関する条件は、好ましくは、隔壁部 7114 に形成された拡散孔 7126 に関しても同様に適用される。

【0151】

上記 $uL/D > 1$ の関係は次のように導き出される。例えば貫通孔 7125 を移動する酸素とシランの関係に関しシランガス密度 (ρ_{SiH_4}) と拡散流速 (u_{SiH_4}) と相互ガス拡散係数 ($D_{\text{SiH}_4\text{-O}_2}$) を用いて下記の式 (3) が成立する。貫通孔の特徴的長さを L とすると、式 (3) が式 (4) に近似できる。式 (4) の両辺を比較した結果、シランの拡散流速 (u_{SiH_4}) が $-D_{\text{SiH}_4\text{-O}_2}/L$ で表わされる。従って、上記の式 (1) と (2) から得られる酸素流速を u とし、シランの拡散流速を $-D_{\text{SiH}_4\text{-O}_2}/L$ とした場合に、これらの 2 つの流速の絶対値の比、すなわち $|-u/(-D_{\text{SiH}_4\text{-O}_2}/L)| = uL/D_{\text{SiH}_4\text{-O}_2}$ の値は酸素物質移動速度とシラン拡散速度の比であり、この比 $uL/D_{\text{SiH}_4\text{-O}_2}$ を 1 以上にすることは、拡散の流量に比較して対流による流量が大きいことを意味する。すなわち、 $uL/D_{\text{SiH}_4\text{-O}_2}$ の値を 1 以上にすることは、シランの拡散影響が少ないことを意味している。

【0152】

$$\rho_{\text{SiH}_4} u_{\text{SiH}_4} = -D_{\text{SiH}_4\text{-O}_2} \text{grad } \rho_{\text{SiH}_4} \quad (3)$$

$$\rho_{\text{SiH}_4} u_{\text{SiH}_4} \doteq -D_{\text{SiH}_4\text{-O}_2} \rho_{\text{SiH}_4} / L \quad (4)$$

次に具体的な例を説明する。隔壁部 7114 の温度を 300°C 、隔壁部 7114 に形成された貫通孔 7125 の直径を 0.5 mm 、直径 0.5 mm の部分の長さ (L) を 3 mm 、貫通孔 25 の総数を 500 個、酸素ガスのガス流量を 500 sccm 、成膜処理空間 7116 の圧力 100 Pa とすると、上記式 (4) の値は 1 となる。このような場合には、シランガスの拡散に比較して流れの影響が十分に大きいため、プラズマ生成空間 7115 へシランガスが拡散することは少なくなる。

【0153】

上記のように、プラズマ生成空間 7115 と成膜処理空間 7116 は、上記特性を有する貫通孔 7125 と拡散孔 7126 が多数形成された隔壁部 7114 でそれぞれ閉じられた室となるように仕切られて隔離されているため、成膜処理空間 7116 に直接導入されたシランと酸素プラズマが接触することはほとんどない。従って、従来装置のごとく、シランと酸素プラズマが激しく反応することは防止される。

【0154】

次に図 38 を参照して本発明に係る CVD 装置の第 2 の実施形態を説明する。図 38 において、図 36 で説明した要素と実質的に同一の要素には同一の符号を付し、ここで詳細な説明を反復することは省略する。本実施形態の特徴的構成は、上容器 7112a の天井部の内側に板状絶縁部材 7333 を設け、かつその下側に電極 7120 を配置するようにした。電極 7120 には上記孔 7120a は形成されず、一枚状の板の形態を有する。電極 7120 と隔壁部 7114 によって平行平板型電極構造によるプラズマ生成空間 7115 を形成する。その他の構成は第 1 実施形態の構成と実質的に同じである。さらに、第 2 実施形態による CVD 装置による作用、効果も前述の第 1 実施形態と同じである。

【0155】

次に図 39 を参照して本発明に係る CVD 装置の第 3 の実施形態を説明する。図 39 において、図 36 で説明した要素と実質的に同一の要素には同一の符号を付し、ここで詳細な説明を反復することは省略する。本実施形態の特徴的構成は、上容器 7112a の側壁部の内側に設けられた環状絶縁部材 7122 には、外側からプラズマ生成空間 7115 へ洗浄用ガスを導入する第 2 ガス導入パイプ 7423 が追加して設けられている。導入パイプ 7423 は流量制御を行うマスフローコントローラ（図示せず）を介して洗浄用ガス供給源（図示せず）に接続されている。第 2 ガス導入パイプ 7423 を通してプラズマ生成空間 7115 内に洗浄用ガスを導入し、かつ高周波電源から電極 7120 に高周波電力を供給すると、プラズマ生成空間 7115 内には、基板 7111 上の膜表面の洗浄に使用されるラジカルを作るためのプラズマが生成される。洗浄用ガスとしては例えば N

F_3 , ClF_3 , C_2F_4 , C_2F_6 , H_2 , O_2 , N_2 , F_2 , Ar 等 (希ガス、ハロゲン化ガス) が使用される。その他の構成は第 1 実施形態の構成と実質的に同じである。

【0156】

ガス導入パイプ 7123 と第 2 ガス供給パイプ 7423 の使用は択一的に実行されるように制御される。この実施形態では、最初に洗浄用ガスが導入されて基板 7111 上の膜の表面洗浄が行われ、その後に成膜用ガスが導入されて基板 7111 上の膜の表面上にゲート絶縁膜が形成される。

【0157】

すなわちレーザアニール処理が行われた膜 (ポリシリコン膜) を表面に形成した基板 7111 が基板ホルダ 7117 上に搭載された後に、プラズマ生成空間 7115 へ第 2 ガス導入パイプ 7423 から洗浄用ガスを導入し、電極 7120 に対して電力導入棒 7129 を介して高周波電力が供給される。これによりプラズマ生成空間 7115 で放電が開始され、洗浄用ガスプラズマ 7419 が生成される。その結果、プラズマ中ではラジカルが生じ、当該ラジカルが隔壁部 7114 の複数の貫通孔 7125 を通して成膜処理空間 7116 へ移動し、基板 7111 上に形成された膜の表面をラジカルによって洗浄する。それによって、レーザアニール後に基板の膜表面上に発生した不純物を除去することが可能となる。

【0158】

上記の基板洗浄の工程を終了し、所定条件を満たした後、プラズマ生成空間 7115 へガス供給パイプ 7123 から酸素ガスを導入し、電極 7120 に対して電力導入棒 7129 を介して高周波電力が供給される。これによりプラズマ生成空間 7115 で放電が開始され、酸素プラズマ 7119 が生成される。その結果、プラズマ中ではラジカルが生じ、当該ラジカルが隔壁部 7114 の複数の貫通孔 7125 を通して成膜処理空間 7116 へ移動する。他方ラジカルの導入に併せて、導入パイプ 7128 から隔壁部 7114 を通して材料ガスを成膜処理空間 7116 へ導入する。成膜処理空間 7116 ではラジカルが材料ガスと反応し、その結果、基板 7111 上に形成された膜の表面上にゲート絶縁膜が形成される。

【0159】

なお、本発明に係る成膜装置は、真空一貫で構成されることが好ましい。

【0160】

次に、本発明の実施形態の装置を用いた成膜方法について説明する。

【0161】

図40は本発明に係る成膜装置の一例を示す。図40において、7112は図36の真空容器である。この真空容器7112は、前述の通り、多数の貫通孔が形成された隔壁部7114によって、互いに隔離されたプラズマ生成空間7115と成膜処理空間7116を備えている。

【0162】

図40で、7512は成膜用材料ガス供給装置である。成膜用材料ガス供給装置7512から供給される材料ガスは、MFC（マスフローコントローラ：流量制御器）7513aを含むガス導入路7513を経由して隔壁部7114内の上記内部空間7124へ導入される。材料ガスとしては、 SiH_4 等のケイ素水素化合物（ $\text{Si}_n\text{H}_{2n+2}$ （ $n=1, 2, 3, \dots$ ））が使用される。成膜処理空間7116においては、隔壁部7114の内部空間7124通って導入される材料ガスと、隔壁部7114に形成された多数の貫通孔7125を通して導入されるラジカルとが反応し、材料ガスが分解され、成膜室内に搬入された基板に対して酸化ケイ素薄膜が堆積され、成膜が行われる。

【0163】

7514は上位コントローラである。上位コントローラ7514は、ガス導入路7513に設けられたMFC7513aにおける材料ガスの流量を制御する機能を有している。上記コントローラ7514によって、MFC7513aにおける材料ガスの流量を制御し、成膜処理空間7116へ導入される材料ガスの供給量を後述するごとく所望の値に制御することが可能となる。図41に示されたグラフは、横軸が時間（t）、縦軸が材料ガスの流量（sccm）が示され、材料ガス流量の変化の一例が示されている。本実施形態では、MFC7513aにおける材料ガスの流量を上記コントローラ7514に基づいて制御し、成膜初期である放電開始時において、成膜処理空間7116への材料ガスの導入流量（供給

量)を制限し、その後に増加させることに特徴を有している。次に材料ガスの導入流量の制限の仕方を説明する。

【0164】

図42は材料ガスである SiH_4 の供給量の制御の一例を示し、横軸は時間であり、縦軸は導入流量である。時間軸では、時刻 t_0 、 t_1 、 t_2 が設定されている。プラズマ生成用ガスとしては例えば酸素(O_2)が用いられている。時刻 t_0 は、酸素ガスがプラズマ生成室へ導入され、酸素ガスの放電が開始される時刻であり、成膜の開始時点である。時刻 t_1 で、 SiH_4 の供給が開始される。従って、時刻 t_0 から時刻 t_1 の間、 SiH_4 の供給は行われない。時刻 t_1 から時刻 t_2 の間では、 SiH_4 の供給量は時間に応じて次第に増加し時刻 t_2 で SiH_4 の供給量は一定値に到達する。時刻 t_2 以降、 SiH_4 の供給量は一定値に保持される。以上のごとく、放電開始を含む成膜初期($t_0 \sim t_1$ および t_1 に近い時期)には材料ガスの供給量が制限されることにより成膜初期のケイ素過剰な酸化ケイ素薄膜の形成を抑制することができ、かつその後において材料ガスの供給量が徐々に増加されることにより成膜時間を短縮し、実用性を高めている。

【0165】

また、 $t_1 \sim t_2$ での供給量の増大をステップ関数または種々の関数、例えば比例、一次関数、二次関数、指数関数等で変化させるように制御を行ってもよい。

【0166】

前述の各実施形態では、材料ガスとしてシランの例を説明したが、これに限定されず、 TEOS 等の他の材料ガスを用いることができるのはもちろんである。またシリコン酸化膜のみならず、シリコン窒化膜等その他の成膜にも応用することができる。本発明の原理的考えは、材料ガスがプラズマに接することによりパーティクルが発生すること、基板ヘイオンが入射することが問題となるすべての処理に応用でき、成膜、表面処理、等方エッチング等に応用できる。さらに前述の実施形態では、隔壁部は二重構造になっているが、必要に応じて多層構造にできるのはもちろんである。

【 0 1 6 7 】

以上の説明で明らかなように本発明によれば、大面積基板にプラズマCVDによりシラン等の材料ガスを用いてシリコン酸化膜等を成膜する場合に、所定条件を満たす複数の貫通孔あるいは拡散孔が形成された隔壁部を設けることによって真空容器の内部をプラズマ生成空間と成膜処理空間に隔離し、プラズマ生成空間で生成された活性種は隔壁部の貫通孔を通して成膜処理空間に導入され、材料ガスは隔壁部の内部空間および拡散孔を通してプラズマに触れることなく直接に成膜処理空間に導入するようにしたため、材料ガスとプラズマとの間の激しい化学反応を防止でき、その結果、パーティクルの発生を抑制し、基板へのイオン入射を防止することができる。

【 0 1 6 8 】

また材料ガスを均一に導入でき、かつ隔壁部に形成された複数の貫通孔によって酸素ガスのラジカルも成膜処理空間に均一に供給でき、これによって基板の表面近傍でのラジカルとシラン等の分布を良好にし、大面積基板への成膜を有効に行うことができる。

【 0 1 6 9 】

図43は、クラスターツール型の装置を横から見た断面図である。この装置は、基板8109の表面にゲート絶縁膜となる酸化シリコン膜を作製する成膜チャンバー8101と、ロードロックチャンバー8102と、内部に搬送機構としての搬送ロボット8130を備えた搬送チャンバー8103とを有している。

【 0 1 7 0 】

成膜チャンバー8101は内部にCVDユニット8113を備えている。このCVDユニット8113内でプラズマを生成し、プラズマ中から取り出した活性種を利用することにより酸化シリコン膜を作製するようになっている。さて、本実施形態の装置の大きな特徴点は、搬送チャンバー8103の構成にある。図43に示すように、搬送チャンバー8103は、内部の圧力調整のため、成膜チャンバー8101内での成膜に悪影響を与えないガスを内部に導入するガス導入系（以下、調圧用ガス導入系）8132を有している。本実施形態では、調圧用ガス導入系8132は水素ガスを導入するようになっている。調圧用ガス導入系8

132は、不図示の流量調整器やフィルタを備えており、純度の高い調圧用ガスを所定の流量で導入できるようになっている。

【0171】

なお、「成膜に悪影響を与えないガス」とは、作製される薄膜の品質に悪影響を与えないガスの意味である。このガスには、水素のように成膜には直接的には関与しないガスや、膜質を向上させる効果を持つガスが含まれる。

【0172】

搬送チャンバー8103が調圧用ガス導入系8132を備えることは、搬送チャンバー8103の排気系8131についての特有の技術思想に関連している。つまり、本実施形態の装置では、搬送チャンバー8103内の圧力を成膜チャンバー8101内の圧力よりも若干低い真空圧力となるように維持する構成となっている。

【0173】

搬送チャンバー8103の排気系8131は、このように比較的高い圧力に排気すれば足りるものであるため、安価な構成となっている。搬送チャンバー8103の排気系8131には、例えば、安価なドライポンプとメカニカルブースターポンプとの組み合わせが採用できる。

【0174】

搬送チャンバー8103の排気系8131には、通常、成膜チャンバー8101よりも排気速度の大きなものが使用され、搬送チャンバー8103を成膜チャンバー8101よりも低い圧力にまで排気するよう構成されている。しかしながら、このような構成であると、前述したように、排気系8131の構成が高価なものになってしまう。例えば、前述した成膜チャンバー8101内の到達圧力を得るためには、ターボ分子ポンプのような非常に高価な真空ポンプを使用する必要がある。到達圧力が1Pa以上であれば安価なドライポンプとメカニカルブースターポンプの組み合わせで足りるものの、到達圧力が1Paより低くなると、これより数倍高価なターボ分子ポンプ等が必要になる。

【0175】

また、搬送チャンバー8103内の圧力が比較的高く設定されるので、装置の

稼動開始時等における排気動作が短時間に済む。従って、装置全体の生産効率が高くなる。

【0176】

本実施例の装置の別の大きな特徴点は、搬送チャンバー 8103 内に、基板 8109 の表面の改質作用がある化学種（以下、改質種）を供給する改質種供給部 8133 が設けられている点である。この点について、以下に説明する。

【0177】

改質種供給部 8133 は、改質用ガス導入系 8134 によって導入されたガスにエネルギーを与えてプラズマを形成する構成となっている。改質種供給部 8133 の構成について図 44 を使用して説明する。図 44 は図 43 に示す装置の搬送チャンバー 8103 内に設けられた改質種供給部 8133 の構成を示す側断面概略図である。

【0178】

改質種供給部 8133 は、基本的に図 36 とほぼ同様の構成である。但し、材料ガスを導入する構成はなく、隔壁部 7114 は複数の孔のあいた板状になっている。改質種供給部 8133 は図 43 から解るように、搬送チャンバー 8103 内であって、成膜チャンバ 8101 との境界部分のゲートバルブ 8104c に近い位置に配置されており、基板 8109 の搬送ラインの上側に位置している。

【0179】

改質用ガス導入系 8134 は、調圧用ガス導入系 8132 と同様に水素ガスをプラズマ生成空間に供給するようになっている。調圧用ガス導入系 8132 の配管を分岐させて改質種供給部 8133 に接続し、調圧用ガス導入系 8132 を改質用ガス導入系 8134 に兼用してもよい。

【0180】

改質用ガス導入系 8134 によって水素ガスがプラズマ生成空間に導入されている状態で、高周波電源が動作すると、プラズマが形成され、水素活性種が下方流出するようになっている。この水素活性種が、本実施形態では改質種に相当しており、これが基板の表面に供給されることで、改質が行われる。例えば、基板 8109 の表面が酸化している場合、これを還元する。また、表面に結合端が存

在している場合、水素活性種はこれを終端し、表面の状態を化学的に安定させる。この改質の際、基板 8109 を搬送ライン上で停止させてもよく、また効率化させるため、移動させながら行ってもよい。

【0181】

第2の実施形態の装置の大きな特徴点は、チャンネル層にポリシリコン膜を使用した TFT-LCD の製造に必要なレーザーアニール工程及びゲート絶縁膜作成工程を真空中で連続してできるようになっていることである。この第2の実施形態の装置においても、搬送チャンバー 8103 は調圧用ガス導入系 8132 を備えており、搬送チャンバー 8103 内は真空圧力ではあるものの 1 Pa より高く、かつ成膜チャンバー 8101 より低い圧力に維持されるようになっている。調圧用ガス導入系 8132 は、同様に水素ガスを搬送チャンバー 8103 内に導入するようになっている。

【0182】

この第2の実施形態によれば、アニール工程の後、改質種の供給によって基板 8109 の表面が改質される構成は、TFT の動作特性を向上させる上で極めて重要な意義を有している。アニール工程で非晶質シリコン膜を結晶化させて得られたポリシリコン膜の表面には、シリコンの未結合端（ダングリングボンド）が存在している。従って、この基板 8109 がアニールチャンバー（図示せず）から成膜チャンバー 8101 に搬送される際、雰囲気中に酸素のようなシリコンと反応し易いガスが存在していると、未結合端において容易にシリコンと反応し、ポリシリコン膜の表面に汚損された領域を作ってしまう。このような汚損領域がポリシリコン膜とゲート絶縁膜の界面に存在していると、化学量論的組成が得られず、欠陥準位の発生等、TFT の動作特性を阻害する問題が生じ易い。

【0183】

本実施形態では、アニール工程の後、水素活性種で表面を改質し、シリコンの未結合端を水素で終端しているため、上記のような問題が抑制される。さらに搬送チャンバー 8103 は比較的高い圧力の真空であるものの、水素ガスでパージされているため、未結合端が存在していてもそれに汚損物質が反応するおそれが低減し、かつ、水素と反応して同様に安定的に終端する可能性が高くなっている。

。このようなことから、本実施形態の装置によればポリシリコンTFTを製造する上で極めて重要な技術事項であるポリシリコン膜とゲート絶縁膜の界面状態を極めて良質なものにすることができる。

【0184】

また、改質種供給部が活性種を供給する点は、アニール工程後の改質ということに関連して重要な意義を有する。前述した通り、基板8109の表面の改質には、活性種その他、イオン入射を利用することもあり得る。しかしながら、アニール工程後の改質にイオン入射を利用することは、問題を生ずる。アニール工程によって結晶化したポリシリコン膜は、比較的弱い結晶構造である。従って、イオンを入射させてしまうと、容易に結合が壊れ、ポリシリコン膜の表面が粗くなった凹凸が形成されたりする。この結果、界面特性が阻害されたり、チャンネル抵抗が増大したりする問題が発生するおそれがある。

【0185】

本実施形態では、CVDユニット8113を使用し、基板の表面から離れた領域にプラズマを形成して活性種を供給している。従って、基板の表面へのイオンの入射は本質的になく、上述したような問題は生じない。

【0186】

図45は、本発明に係るレーザアニール装置の構造を説明する図である。

【0187】

このレーザアニール装置は、アモルファス状Si等の半導体薄膜を表面上に形成したガラス板であるワークWを載置して3次元的に滑らかに移動可能なステージ3210と、一対の特性の異なるレーザビームLB1、LB2をそれぞれ発生する一対のレーザ光源3221、3222と、これらのレーザビームLB1、LB2を合成する合成光学系3230と、合成光学系3230によって合成された合成光CLを線条ビームABにして所定の照度でワークW上に入射させる照射光学系3240と、照射光学系3240中に設けたマスク3242を移動させてワークW上に投射した線条ビームABをワークW上で走査させる走査手段であるマスク駆動装置3250と、ワークWを載置したステージ3210を照射光学系3240等に対して必要量だけ適宜移動させるステージ駆動装置3260と、レーザ

アニール装置全体の各部の動作を統括的に制御する主制御装置 3 2 1 0 0 とを備える。

【 0 1 8 8 】

一对のレーザ光源 3 2 2 1、3 2 2 2 は、ともにワーク W 上の半導体薄膜を加熱するためのエキシマレーザその他のパルス光源であり、発光時間やピーク強度、或いは波長等の特性が互いに異なる一对のレーザビーム L B 1、L B 2 をそれぞれ個別に発生する。

【 0 1 8 9 】

合成光学系 3 2 3 0 は、両レーザ光源 3 2 2 1、3 2 2 2 からの一对のレーザビーム L B 1、L B 2 を空間的に継ぎ合わせて合成光 C L を形成するためのもので、一对の平行に配置されたナイフエッジミラー 3 2 3 1、3 2 3 2 からなる。なお、合成光学系 3 2 3 0 と両レーザ光源 3 2 2 1、3 2 2 2 との間には、それぞれダイバージェンス光学系 3 2 7 1 とテレスコープ光学系 3 2 7 2 とを調整装置として設けている。ダイバージェンス光学系 3 2 7 1 は、レーザ光源 3 2 2 1 からの第 1 ビーム L B 1 について、照射光学系 3 2 4 0 に設けたホモジナイザ 3 2 4 1 による光軸方向結像位置（ビーム形成位置）を微調整する調整光学系としての役割を有する。テレスコープ光学系 3 2 7 2 は、レーザ光源 3 2 2 2 からの第 2 ビーム L B 2 について、そのビームサイズを調節して合成光学系 3 2 3 0 に入射する第 1 ビーム L B 1 のビームサイズと一致させるアフォーカル光学系としての役割を有する。

【 0 1 9 0 】

照射光学系 3 2 4 0 は、合成光学系 3 2 3 0 からの合成光 C L を一旦複数に分割するとともにこれらの分割光を矩形のビームにして所定面上に重畳して均一に入射させるホモジナイザ 3 2 4 1 と、スリット状の透過パターンを有するとともに、所定面上に配置されて合成光 C L を遮るマスク 3 2 4 2 と、マスク 3 2 4 2 に形成された透過パターンを線条ビーム A B としてワーク W 上に縮小投影する投影レンズ 3 2 4 3 とを備える。

【 0 1 9 1 】

ステージ駆動装置 3 2 6 0 は、ステージ 3 2 1 0 を駆動してワーク W 上の所定

領域を照射光学系 3240 に対して位置合わせするアライメントを行う。また、ステージ駆動装置 3260 は、マスク駆動装置 3250 によって線条ビーム AB がワーク W 上の所定領域で走査されて所定領域のレーザアニールが終了した段階で、マスク 3242 を上記の所定領域に隣接する領域にステップ移動させるアライメントを行う。なお、ステージ駆動装置 3260 によるステージ 3210 の駆動量は、位置検出装置 3280 によって常時監視されている。

【0192】

以下、図 45 の装置の動作について説明する。まず、レーザアニール装置のステージ 3210 上にワーク W を搬送して載置する。次に、照射光学系 3240 に対してステージ 3210 上のワーク W をアライメントする。次に、照射光学系 3240 のマスク 3242 を移動させながら、一対のレーザ光源 3221、3222 から得た合成光 CL を線条ビーム AB にしてワーク W 上の所定領域に入射させる。ワーク W 上には、非晶質半導体のアモルファス Si 等の薄膜が形成されており、線条ビーム AB の照射及び走査によって半導体の所定領域がアニール、再結晶化され、電気的特性の優れた半導体薄膜を提供することができる。以上のようなレーザアニールは、ワーク W に設けた複数の所定領域で繰返され、ワーク W に設けた複数の所定領域で半導体薄膜がアニールされる。

【0193】

この際、上記装置では、合成光学系 3230 が一対のレーザ光源 3221、3222 からの一対のレーザビーム LB1、LB2 を空間的に継ぎ合わせて合成光 CL を形成するので、一対のレーザビーム LB1、LB2 をロスを最小限に抑えて合成することができ、合成後は、ホモジナイザ 3241 によって一対のレーザビーム LB1、LB2 について均一な矩形ビームをそれぞれ所定面であるマスク 3242 上に形成することができる。さらに、ワーク W 上に入射する線条ビーム AB は、レーザビーム LB1、LB2 を効率的に合成したものであり、多様なレーザアニールが可能になる。

【0194】

図 46 は、合成光学系 3230 及びその周辺の構造を説明する図である。既に説明したように、合成光学系 3230 は、一対のナイフエッジミラー 3231、

3232からなり、第1ビームLB1を一对のナイフエッジ3231a、3232a間に通過させるとともに第2ビームLB2を一对のナイフエッジ3231a、3232aによって分割する。第1ビームLB1についてホモジナイザ3241による結像位置を微調整するダイバージェンス光学系3271は、凸レンズ3271aと凹レンズ3271bとを組み合わせたアフォーカル系となっている。第2ビームLB2のビームサイズを第1ビームLB1のビームサイズと一致させるテレスコープ光学系3272も、凹レンズ3272aと凸レンズ3272bとを組み合わせたアフォーカル系となっている。テレスコープ光学系3272と合成光学系3230との間には、ターンミラー3233を設けて第2ビームLB2を案内している。一方、両レーザビームLB1、LB2を合成した合成光CLが入射するホモジナイザ3241は、第1～第4シリンドリカルレンズアレイCA1～CA4と、凸レンズのコンデンサレンズ3241aとからなる。ここで、第1及び第3シリンドリカルレンズアレイCA1、CA3は、紙面に平行な断面に曲率を有し、第2及び第4シリンドリカルレンズアレイCA2、CA4は、紙面に垂直で光軸を含む断面に曲率を有する。

【0195】

以下、動作の概要について説明する。第1ビームLB1は、ナイフエッジ3231a、3232a間、すなわちホモジナイザ3241の光軸OAを含む中央側瞳領域を通り、第2ビームLB2は、ナイフエッジミラー3231、3232によって2つに分割されて第1ビームLB1の両端、すなわちホモジナイザ3241の一对の外側瞳領域を通して、それぞれホモジナイザ3241に入射する。ホモジナイザ3241は、合成光CLが入射できるようにビーム2つ分の入射瞳のサイズにしてあり、コンデンサレンズ3241a等のレンズ系はその入射瞳に合わせて収差補正がされている。

【0196】

ホモジナイザ3241に入射した合成光CLは、第1～第4シリンドリカルレンズアレイCA1～CA4によって、シリンドリカルレンズを構成するセグメント数に分割された2次光源を形成する。分割された2次光源からの光ビームは、コンデンサレンズ3241aに入射し、コンデンサレンズ3241aのバックフォ

ーカス位置に配置された被照射面 I S で重ね合わされて均一な矩形ビームを形成する。

【0 1 9 7】

ここで、ダイバージェンス光学系 3 2 7 1 やテレスコープ光学系 3 2 7 2 は、第 1 ビーム L B 1 と第 2 ビーム L B 2 のビーム特性やその相違等に起因して、ホモジナイザ 3 2 4 1 によって形成される矩形ビームについてフォーカス位置の違いやビームサイズの違い、さらにユニフォーミティの違いが生じてしまうことを防止している。

【0 1 9 8】

前者のダイバージェンス光学系 3 2 7 1 は、ホモジナイザ 3 2 4 1 に入射する第 1 ビーム L B 1 の N A を僅かに変えてホモジナイザ 3 2 4 1 によるベストフォーカス位置及びビームサイズを調整する。後者のテレスコープ光学系 3 2 7 2 は、ホモジナイザ 3 2 4 1 に入射する第 1 ビーム L B 1 のビームサイズに第 2 ビーム L B 2 のビームサイズを一致させる。これにより、両レーザビーム L B 1、L B 2 について、シリンドリカルレンズアレイ C A 1 ~ C A 4 による分割数を一致させて同様のユニフォーミティを得ることができる。

【0 1 9 9】

以下、動作の詳細について説明する。第 1 ビーム L B 1 は、図示していないビームデリバリー（ターンミラー等）を経て第 1 ビーム用のダイバージェンス光学系 3 2 7 1 に入射する。このダイバージェンス光学系 3 2 7 1 は、ほぼ等倍のアフォーカル系であり、2 つのレンズ 3 2 7 1 a、3 2 7 1 b のレンズ間距離を変えることにより、このダイバージェンス光学系 3 2 7 1 から出射する第 1 ビーム L B 1 のビームサイズをほとんど変えることなく、この第 1 ビーム L B 1 の N A を僅かに変えることができる。具体的な実施例では、ダイバージェンス光学系 3 2 7 1 による出射 N A（第 1 ビーム L B 1 の広がり角）の可変調節範囲を数 m r a d 程度とした。なお、2 枚のレンズ 3 2 7 1 a、3 2 7 1 b は凸凹の 2 群系であり、各々のパワーも小さいため、両レンズ 3 2 7 1 a、3 2 7 1 b の間隔を変えても収差の変化はほとんど生じない。

【0 2 0 0】

ダイバージェンス光学系 3 2 7 1 を出射した第 1 ビーム L B 1 は、2 枚のナイフエッジミラー 3 2 3 1、3 2 3 2 の間、すなわちホモジナイザ 3 2 4 1 の光軸中心側を通過するのみである。ナイフエッジミラー 3 2 3 1、3 2 3 2 間を通過した第 1 ビーム L B 1 は、その後ホモジナイザ 3 2 4 1 のシリンドリカルレンズアレイ C A 1 の中央部（第 1 ビーム L B 1 に割り当てられたシリンドリカルレンズ）に入射し、シリンドリカルレンズの個数（図 4 6 では 6 本）に分割される。分割された各ビームは、コンデンサレンズ 3 2 4 1 a により重ね合わされて被照射面 I S で均一ビームを形成する。

【 0 2 0 1 】

一方、第 2 ビーム L B 2 は、図示していないビームデリバリーを経て第 2 ビーム用のテレスコープ光学系 3 2 7 2 に入射する。このテレスコープ光学系 3 2 7 2 に入射した第 2 ビーム L B 2 は、本光学系で拡大または縮小されて第 1 ビーム L B 1 と同一のビームサイズとなってここから出射して合成光学系 3 2 3 0 に向かう。合成光学系 3 2 3 0 では、ナイフエッジミラー 3 2 3 1、3 2 3 2 によって第 2 ビーム L B 2 が 2 つのビーム部分 L B 2 a、L B 2 b に分割され、それぞれ第 1 ビーム L B 1 の両端を通過してホモジナイザ 3 2 4 1 へと向かう。両ビーム部分 L B 2 a、L B 2 b は、ホモジナイザ 3 2 4 1 の光軸中心の外側、すなわちホモジナイザ 3 2 4 1 のシリンドリカルレンズアレイ C A 1 の両端部（第 2 ビーム L B 2 に割り当てられたシリンドリカルレンズ）に入射し、シリンドリカルレンズの個数（図 4 6 では上下 3 本ずつの計 6 本）に分割される。分割された各ビームは、コンデンサレンズ 3 2 4 1 a により重ね合わせられて被照射面 I S で均一ビームを形成する。

【 0 2 0 2 】

以上の説明では、第 1 ビーム L B 1 及び第 2 ビーム L B 2 共に「被照射面 I S で均一ビームを形成する」と記したが、実は両者のベストフォーカス位置は、主に光源から出射するビームの拡がり角等の特性の違いにより異なることがある。また、このようにベストフォーカスが異なっている場合、ビームサイズも異なっていることが多い。したがって、第 1 ビーム L B 1 及び第 2 ビーム L B 2 の特性の差を補償する必要がある。このため、第 2 ビーム L B 2 のベストフォーカス位置を

真の被照射面 I S（基準面）として、この基準面に第 1 ビーム L B1 のベストフォーカス位置を一致させる。具体的には、ダイバージェンス光学系 3 2 7 1 により第 1 ビーム L B1 の出射 N A、すなわちホモジナイザ 3 2 4 1 から見た場合の入射 N A を変える。ホモジナイザ 3 2 4 1 から見た入射 N A を変更すると、それに応じてホモジナイザ 3 2 4 1 通過後のベストフォーカス位置が変わる。これにより、第 1 ビーム L B1 のベストフォーカス位置を微調し、第 2 ビーム L B2 のそれに一致させることができる。なお、ホモジナイザ 3 2 4 1 のレンズ構成によって出射 N A とベストフォーカス位置のずれとの対応は異なるのでかかる調整の詳細な説明は省略する。

【0203】

図 4 7 は、本発明に係るレーザ加工装置の一実施形態であるレーザアニーリング装置の構造を概念的に説明する図である。

【0204】

このレーザアニーリング装置は、ガラス基板上にアモルファス状 S i 等の半導体薄膜を形成したワーク W を熱処理するためのもので、かかる半導体薄膜を加熱するためのエキシマレーザその他のレーザ光 A L を発生するレーザ光源 3 3 1 0 と、このレーザ光 A L をライン状（微細な矩形）にして所定の照度でワーク W 上に入射させる照射光学系 3 3 2 0 と、ワーク W を載置してワーク W を X-Y 面内で滑らかに並進移動させることができるとともに Z 軸の回りに回転移動させることができるプロセスステージ装置 3 3 3 0 とを備える。

【0205】

照射光学系 3 3 2 0 は、入射したレーザ光 A L を均一な分布とするホモジナイザ 3 3 2 1 と、ホモジナイザ 3 3 2 1 を経たレーザ光 A L を細い矩形ビームに絞るスリットを形成したマスクを有するマスク組立体 3 3 2 2 と、マスクのスリット像をワーク W 上に縮小投影する投影レンズ 3 3 2 3 とからなる。このうち、マスク組立体 3 3 2 2 は、マスクステージ装置 3 3 4 0 に交換可能に支持されており、マスクステージ装置 3 3 4 0 に駆動されて X-Y 面内で滑らかに並進移動可能であるとともに Z 軸の回りに回転移動可能となっている。

【0206】

プロセスステージ装置 3330 は、プロセスチャンバ 3350 内に收容されており、ワーク W をプロセスチャンバ 3350 内に支持するとともに照射光学系 3320 に対して適宜移動させることができる。照射光学系 3320 からのレーザー光 AL は、ウィンドウ 3350 a を介してプロセスチャンバ 3350 内の適所に支持されたワーク W 上に照射される。

【0207】

なお、投影レンズ 3323 の両側には、ウィンドウ 3350 a を介して検査光をワーク W 表面に入射させる投光装置 3361 と、ワーク W 表面からの反射光を検出する受光装置 3362 とからなる位置検出装置等が設置されており、プロセスステージ装置 3330 上のワーク W を照射光学系 3320 に対して精密に位置合わせすることができるようになっている。

【0208】

ここで、マスクステージ装置 3340 や投影レンズ 3323 は、プロセスチャンバ 3350 から延びる架台 3365 に吊り下げられて固定されている。なお、図示を省略しているが、ホモジナイザ 3321 は架台 3365 に対して間接的に固定されている。

【0209】

マスクステージ装置 3340 に支持されたマスク組立体 3322 は、円柱状の取付け治具 3370 の下端に吊り下げられて、マスクステージ装置 3340 に設けた挿入口 3340 a の底部に挿入され、ここに固定される。マスク組立体 3322 は、スリットを形成したマスク 3322 a と、マスク 3322 a 上方にマスク 3322 a に対して傾斜して配置されてマスク 3322 a からの戻り光に起因して他の光学要素にダメージが発生することを防止する反射部材 3322 b と、マスク 3322 a に入射するレーザー光 AL の広がり角を調整するフィールドレンズ 3322 c とを備え、これらマスク 3322 a、反射部材 3322 b 及びフィールドレンズ 3322 c を一体的に保持する。

【0210】

図 48 は、マスクステージ装置 3340 の構造とマスク組立体 3322 の支持とを説明する図であり、図 48 (a) は、マスクステージ装置 3340 等の側方

断面図であり、図 48 (b) は、取付け治具 3370 の平面図である。

【0211】

マスクステージ装置 3340 は、マスク組立体 3322 を X 軸方向に並進移動させる X 軸ステージ部 3441 と、X 軸ステージ 3441 とともにマスク組立体 3322 を Y 軸方向に並進移動させる Y 軸ステージ部 3442 と、X 軸ステージ 3441 及び Y 軸ステージ部 3442 を Z 軸の回りに回転移動させる θ 軸ステージ 3443 とからなる。X 軸ステージ 3441 と Y 軸ステージ部 3442 とは、スライドガイド 3445 を介して摺動可能に連結されている。一方、Y 軸ステージ部 3442 と θ 軸ステージ 3443 とは、軸受 3446 を介して回転可能に連結されている。

【0212】

マスク組立体 3322 は、マスク 3322a、反射部材 3322b 及びフィールドレンズ 3322c を保持する筒状のマスクホルダ本体 3422d の外周に、下方に向けて細くなるテーパ外面 TP1 を有する。一方、X 軸ステージ 3441 も、底部 3441a に設けた円形開口に、テーパ外面 TP1 に嵌合するテーパ内面 TP2 を有する。この結果、X 軸ステージ 3441 の底部 3441a に設けた円形開口にマスク組立体 3322 を挿入するだけで、テーパ外面 TP1 とテーパ内面 TP2 とが嵌合して、X 軸ステージ 3441 に対してマスク組立体 3322 を精密に位置合わせすることができる。さらに、マスク組立体 3322 は、X 軸ステージ 3441 の底部 3441a にねじ込まれた環状の固定ナット 3425 によって下方に一定の力で付勢される。

【0213】

マスク組立体 3322 や固定ナット 3425 は、取付け治具 3370 を利用して、X 軸ステージ 3441 の底部 3441a に取り付けられる。マスク組立体 3322 は、取付け治具 3370 の下面に設けた鉤状の引掛け部材 3471 と係合する陥凹部 3422g を有し、取付け治具 3370 の操作にともなって昇降する。これにより、X 軸ステージ 3441 の底部 3441a に設けた円形開口にマスク組立体 3322 を簡易・確実に挿入することができる。また、固定ナット 3425 も、取付け治具 3370 の引掛け部材 3471 と係合する陥凹部 3425g

を有し、取付け治具 3 3 7 0 の操作にともなって昇降する。これにより、X 軸ステージ 3 4 4 1 の底部 3 4 4 1 a に挿入されたマスク組立体 3 3 2 2 の上方から固定ナット 3 4 2 5 をねじ込んで、マスク組立体 3 3 2 2 を簡易・確実に固定することができる。

【0 2 1 4】

取付け治具 3 3 7 0 は、円柱状の本体 3 4 7 0 a と、本体 3 4 7 0 a 下端に固定されて引掛け部材 3 4 7 1 を支持する円盤状の支持部材 3 4 7 0 b と、本体 3 4 7 0 a を支持部材 3 4 7 0 b とともに回転させたり昇降させたりするためのハンドル 3 4 7 0 c とを備える。なお、ハンドル 3 4 7 0 c は、操作の便宜等を考慮して、図 4 8 (b) に示すように、3 方に延びる取っ手 3 4 7 3 を有している。

【0 2 1 5】

取付け治具 3 3 7 0 の下部にマスク組立体 3 3 2 2 を取り付けた状態で、マスクステージ装置 3 3 4 0 の挿入口 3 4 4 0 a からマスク組立体 3 3 2 2 を挿入し、底部 3 4 4 1 a までマスク組立体 3 3 2 2 を降下させたところで取付け治具 3 3 7 0 を時計方向に回転させると、マスク組立体 3 3 2 2 は取付け治具 3 3 7 0 と分離される。

【0 2 1 6】

次に、固定ナット 3 4 2 5 を、マスク組立体 3 3 2 2 と同様に取付け治具 3 3 7 0 の下部に取り付けて、マスクステージ装置 3 3 4 0 の挿入口 3 4 4 0 a から挿入する。下端に達したところで、固定ナット 3 4 2 5 を反時計方向に回転させて所定の位置まで締め付けられれば、マスク組立体 3 3 2 2 は皿ばね 3 4 2 5 c 皿の一定圧力で底部 3 4 4 1 a に押し付けられる。この際、マスクホルダ本体 3 4 2 2 d に設けたテーパ外面 T P 1 と、底部 3 4 4 1 a に設けたテーパ内面 T P 2 とが密着するので、マスク組立体 3 3 2 2 をマスクステージ装置 3 3 4 0 に精度良く取り付けることができる。その後、取付け治具 3 3 7 0 を時計方向に回転させると、固定ナット 3 4 2 5 は取付け治具 3 3 7 0 と分離され、取付け治具 3 3 7 0 のみ取り出すことができる。

【0 2 1 7】

マスク組立体 3 3 2 2 のマスクステージ装置 3 3 4 0 からの取り外しに際しては、上記の操作を全く逆にたどればよい。すなわち、取付け治具 3 3 7 0 をマスクステージ装置 3 3 4 0 の挿入口 3 4 4 0 a に挿入し、固定ナット 3 4 2 5 をゆるめて取り外し、さらに同じ取付け治具 3 3 7 0 の先端をマスク組立体 3 3 2 2 上の陥凹部 3 4 2 2 g に引っ掛ける。その後、ゆっくり取付け治具 3 3 7 0 を引き上げると、マスク組立体 3 3 2 2 が取付け治具 3 3 7 0 と一体となって引き出される。さらに、マスク 3 3 2 2 a 及び反射部材 3 3 2 2 b のマスク組立体 3 3 2 2 からの取り外しも、詳細な説明は省略するが、これらの取付け時と反対の手順で容易に行える。

【 0 2 1 8 】

なお、以上の操作によってマスク 3 3 2 2 a はマスクステージ装置 3 3 4 0 に対して精度良く取り付けられることになるが、更に精密な位置決めは、マスク面に付けられたアライメントマークを CCD カメラ（不図示）等で目視観察しながら、調整することになる。

【 0 2 1 9 】

次に本発明に係る実施形態の位置計測装置及び方法について、図面を参照しつつ具体的に説明する。

【 0 2 2 0 】

図 4 9 は、実施形態の位置計測装置を組み込んだレーザアニール装置の構造を概念的に説明する図である。レーザアニール装置は、ガラス板であるワーク W 上に形成したアモルファス状 Si 等の半導体薄膜を加熱するためのエキシマレーザその他のレーザ光 AL を発生するレーザ光源 3 5 1 0 と、このレーザ光 AL をライン状或いはスポット状にして所定の照度でワーク W 上に入射させる照射光学系 3 5 2 0 と、ワーク W を載置して X-Y 面内で滑らかに移動可能であるとともに Z 軸の回りに回転可能なステージ 3 5 3 0 と、ワーク W を載置したステージ 3 5 3 0 を照射光学系 3 5 2 0 等に対して必要量だけ移動させる駆動手段であるステージ駆動装置 3 5 4 0 とを備える。なお、照射光学系 3 5 2 0 は、例えば入射したレーザ光 AL を均一な分布とするホモジナイザ 3 5 2 0 a と、ホモジナイザ 3 5 2 0 a を経たレーザ光 AL を所定のビーム形状に絞るスリットを有するマスク

3520bと、マスク3520bのスリット像をワークW上に縮小投影する投影レンズ3520cとからなるものとすることができる。

【0221】

さらに、このレーザアニール装置は、位置計測装置として、上記ステージ3530及びステージ駆動装置3540のほか、ステージ3530の移動量を光学的な情報や電氣的な情報として検出する移動量計測装置3550と、ワークW上のアライメントマークを結像する同軸タイプで2眼2倍率の投影光学系3560と、投影光学系3560によって投影された比較的低倍の第1倍率の像を画像信号に変換する第1撮像装置3571と、投影光学系3560によって投影された比較的高倍率の第2倍率の像を画像信号に変換する第2撮像装置3572と、第1及び第2撮像装置3571、3572から出力された画像信号に適当な信号処理を施す画像処理装置3580と、ワークW表面を照明するため投影光学系3560に照明光を供給する照明用ランプ3565とを備える。なお、主制御装置3585は、この位置計測装置のみならず、レーザアニール装置の各部の動作を統括的に制御する。

【0222】

投影光学系3560についてより詳細に説明する。この投影光学系3560は、既に述べたように同軸タイプの2眼2倍率の光学系であり、ステージ3530上のワークWの像を比較的低倍率の第1倍率で第1撮像装置3571上に投影する第1レンズ系3561a、3561bと、これを比較的高倍の第2倍率で第2撮像装置3572上に投影する第2レンズ系3562a、3562bと、ワークWからの像光ILを分割して第1レンズ系3561a、3561b及び第2レンズ系3562a、3562bに導くハーフミラー3563と、レーザ光源3510と異なる波長の照明光を発生する照明用ランプ3565からの照明光を、ケーブル3566を介して第2撮像装置3572の光軸上に導く落射照明系3567とを備える。

【0223】

ここで、第1レンズ系3561a、3561bと、第2レンズ系3562a、3562bとは、光軸を共有する同軸光学系となっている。つまり、第1レンズ

系 3561a、3561b の光軸に沿ってワーク W から出射した像光 IL は、ハーフミラー 3563 で反射された場合には第 1 撮像装置 3571 の画界の中心に入射するとともに、ハーフミラー 3563 を透過した場合には第 2 レンズ系 3562a、3562b の光軸に沿って第 2 撮像装置 3572 の画界の中心に入射する。また、落射照明系 3567 も、第 2 レンズ系 3562a、3562b と同軸に配置されており、第 1 及び第 2 撮像装置 3571、3572 の画界に対応するワーク W 上の領域が一様に照明される。

【0224】

なお、第 1 撮像装置 3571 は、固体撮像素子である CCD 素子からなり、レンズ 3561b と併せて CCD カメラ 3573 を構成する。この CCD カメラ 3573 は、レンズ 3561a を収容する鏡筒 3575 の一端に固定されている。一方、第 2 撮像装置 3572 も、CCD 素子からなり、レンズ 3562b と併せて CCD カメラ 3574 を構成する。この CCD カメラ 3574 は、レンズ 3562a を収容する鏡筒 3576 の一端に固定されている。両鏡筒 3576 の他端は、ハーフミラー 3563 を収納するケースに固定されている。

【0225】

図 50 は、図 49 のステージ 3530 に載置されるワーク W の表面に形成されるアライメントマークの配置の一例を示す図である。図示のアライメントマーク M1、M2 は、ともに明暗 2 値の十字パターンを大小组み合わせた 2 重パターンである。

【0226】

第 1 アライメントマーク M1 は、ワーク W の 4 隅の一箇所に形成されており、第 2 アライメントマーク M2 は、ワーク W の 4 隅の他の箇所に形成されている。このように、第 1 及び第 2 アライメントマーク M1、M2 をワーク W 上の 2 箇所に形成しているのは、ワーク W の位置だけでなくワーク W の回転も検出するためである。つまり、第 1 及び第 2 アライメントマーク M1、M2 の位置計測により、ワーク W 上の 2 つの基準点の座標が分かることになり、ワーク W の姿勢を修正した上でワーク W を適正な位置に移動させるアライメントが可能になる。

【0227】

次に図49のレーザアニール装置の動作について説明する。まず、レーザアニール装置のステージ3530上にワークWを搬送して載置する。次に、アニール用のレーザ光ALを導く照射光学系3520に対してステージ3530上のワークWをアライメントする。次に、照射光学系3520に対してステージ3530を適宜移動させながら、レーザ光源3510からのレーザ光ALをライン状或いはスポット状にしてワークW上に入射させる。ワークW上には、アモルファスSi等の非晶質半導体の薄膜が形成されており、レーザ光ALの照射によって半導体がアニール、再結晶化され、電気的特性の優れた半導体薄膜を提供することができる。

【0228】

照射光学系3520に対してステージ3530上のワークWをアライメントするに際しては、位置計測装置を利用する。すなわち、ステージ3530をステージ駆動装置3540によって適宜移動させて、第1アライメントマークM1、すなわちグローバルマークM11及びファインマークM12を第1撮像装置3571の画界内に導く（ステップS1）。ステージ3530上のワークWの位置は一定の搬送精度範囲（実施例では、0.5～1mm）内に収まっているので、投影光学系3560に対してステージ3530を適宜移動させて、第1レンズ系3561a、3561bの視野内、すなわち第1撮像装置3571の画界（実施例では、5mmサイズ）中に第1アライメントマークM1を移動させることができる。例えば、ワークW上の第1アライメントマークM1の位置をデータとして予め入力し記憶しておけば、第1アライメントマークM1の位置データに基づいて、ステージ3530を適宜移動させて、第1撮像装置3571の画界中に第1アライメントマークM1をほぼ確実に入れることが保証される。

【0229】

次に、第1アライメントマークM1のうちまずグローバルマークM11について、画像処理装置3580において低倍率の第1撮像装置3571からの画像信号処理することによりその位置を計測する（ステップS2）。なお、第1撮像装置3571の画素とステージ3530上の距離との間には精密な対応関係があり、第1撮像装置3571の中心、すなわち第1レンズ系3561a、3561bの

光軸からグローバルマークM11の中心までの距離のXY成分が精密に判定できる。

【0230】

次に、移動量計測装置3550で移動量を計測しながら、ステージ駆動装置3540を駆動してステージ3530をXY面内で移動させることにより、第1レンズ系3561a、3561bの光軸にグローバルマークM11の中心を一致させる（ステップS3）。なお、移動量計測装置3550が計測する移動量は、ステップS2で求めた距離に対応する。この際、グローバルマークM11による位置決め精度は、実施例では $\sim 10\mu\text{m}$ 程度である。以上のようなサーチアライメントにより、グローバルマークM11の中心に配置されたファインマークM12を高倍率の第2撮像装置3572の画界（実施例では、 0.5mm サイズ）中に確実に移動させることができる。

【0231】

次に、ファインマークM12について、画像処理装置3580において第2撮像装置3572からの画像信号処理することによりその位置を計測する（ステップS4）。なお、第2撮像装置3572の画素とステージ3530上の距離との間には精密な対応関係があり、第2撮像装置3572の中心、すなわち第2レンズ系3562a、3562bの光軸からファインマークM12の中心までの距離が精密に判定できる。ファインマークM12による位置計測精度は、実施例では $\sim 1\mu\text{m}$ 程度である。

【0232】

ここで、ファインマークM12の位置を計測している投影光学系3560は、レーザアニール用の照射光学系3520に対して所定の位置関係にあり、この位置関係は、予め計測され、或いは調整されている。したがって、第2レンズ系3562a、3562bの光軸からファインマークM12の中心までの距離を、上記位置関係に基づいて、レーザアニール用の照射光学系3520からファインマークM12の中心までの距離に換算することができる（ステップS5）。以上により、第1アライメントマークM1の精密な座標決定が可能になる。

【0233】

以上の計測（ステップS1～S5）は、第2アライメントマークM2についても同様に行われ、第2アライメントマークM2についても精密な座標決定が可能になる（ステップS6）。なお、実施例では、第2撮像装置3572の1画素を $1\mu\text{m}$ とし、 $1\mu\text{m}$ 程度の精度で位置検出が行われた。

【0234】

次に、ステップS5、S6で得た第1及び第2アライメントマークM1、M2の精密な座標測定結果に基づいて、照射光学系3520に対してワークWをアライメントする（ステップS7）。具体的には、照射光学系3520を基準とした第1及び第2アライメントマークM1、M2のファインマークについての座標測定値に基づいて、ワークWの位置と回転を求め、この結果からレーザアニールの開始に際して必要となる位置に必要な回転姿勢でワークWを配置する。

【0235】

次に、照射光学系3520から照射されるレーザスポットやレーザライン等のレーザ光ALを、ステージ駆動装置3540及び移動量計測装置3550を用いてワークW上で走査させながら、ワークW上のアモルファス薄膜を再結晶化させ、ワークW上に多結晶薄膜を順次形成する。この際、移動量計測装置3550で移動量を観測しながらステージ駆動装置3540によってステージ3530をX方向又はY方向に移動させることで、レーザ光ALの走査が可能になる。また、照射光学系3520に走査機能を持たせること、例えば照射光学系3520内部のマスク3520bを移動させることによっても、レーザ光ALの走査が可能になる。

【0236】

以上説明した第1実施形態の位置計測方法によれば、ワークWをステージ3530上に搬送載置した後において、グローバルマークM11を用いたサーチアライメントによるワークWの移動のみで高精度の位置計測が可能になり、ワークWの位置計測が迅速なものとなる。また、グローバルマークM11とファインマークM12の輪郭を相似形としているので、両マークM11、M12を計測する際の画像計測アルゴリズムをほぼ共通のものとできるので、演算処理等を簡素化することができる。

【 0 2 3 7 】

図 5 1 は、ステージ 3 5 3 0（図 4 9 参照）上に載置されるワーク W の表面に形成されるアライメントマークの配置を説明する斜視図である。

【 0 2 3 8 】

第 1 及び第 2 グローバルマーク M111、M211 は、ワーク W の 4 隅のいずれかにそれぞれ形成されている。両グローバルマーク M111、M211 は、ワーク X 軸について座標が等しく、ワーク Y 軸について座標が異なっている。一方、第 1 及び第 2 ファインマーク M112、M212 は、ワーク W 上の加工領域 P A の近傍にそれぞれ配置されている。両ファインマーク M112、M212 は、ワーク X 軸について座標が等しく、ワーク Y 軸について座標が異なっている。なお、加工領域 P A は、投影レンズ 3 5 2 0 c によってマスク 3 5 2 0 b のスリット像等を投影すべき領域であり、ワーク W 上に適当な間隔で配列されている（図面では、2 つのみ例示）。

【 0 2 3 9 】

第 1 及び第 2 グローバルマーク M111、M211 の位置計測により、ワーク W 周辺の 2 つの基準点の座標が分かることになり、ワーク W の姿勢を修正した上で、第 1 及び第 2 ファインマーク M112、M212 のそれぞれを高倍率側の第 2 撮像装置 3 5 7 2（図 4 9 参照）の画界に入れるサーチアライメント（グローバルアライメント）が可能になる。一方、第 1 及び第 2 ファインマーク M112、M212 の位置計測により、これらに対応する加工領域 P A 周辺の 2 つの基準点の精密な座標が分かるので、ワーク W を適宜移動させて、マスク 3 5 2 0 b のスリット像を加工領域 P A 上に精密に投影することができる。

【 0 2 4 0 】

図 5 2 は、本発明に係るレーザ加工装置の一実施形態であるレーザアニーリング装置の構造を概念的に説明する図である。

【 0 2 4 1 】

このレーザアニーリング装置は、ガラス基板上にアモルファス状 S i 等の半導体薄膜を形成したワーク W を熱処理するためのもので、かかる半導体薄膜を加熱するためのエキシマレーザその他のレーザ光 A L を発生するレーザ光源 5 3 1 0 と、このレーザ光 A L をライン状（正確には微細な矩形）にして所定の照度でワ

ークW上に入射させる照射光学系5320と、ワークWを載置してワークWをX-Y面内で滑らかに並進移動させることができるとともにZ軸の回りに回転移動させることができるプロセスステージ装置5330と、プロセスステージ装置5330の動作を制御するステージ制御装置5340と、レーザアニリング装置の各部の動作を統括的に制御する主制御装置53100とを備える。

【0242】

照射光学系5320は、入射したレーザ光ALを均一な分布とするホモジナイザ5320aと、ホモジナイザ5320aを経たレーザ光ALを矩形のビーム形状に絞るスリットを有するマスク5320bと、マスク5320bのスリット像をワークW上に縮小投影する投影光学系である投影レンズ5320cとからなる。このうちマスク5320bは、マスクステージ装置5350に交換可能に保持されており、X-Y面内で滑らかに並進移動可能になっているとともにZ軸の回りに回転移動可能となっている。マスクステージ装置5350の動作は、ステージ制御装置5360によって制御されており、マスク5320bの並進や回転移動のタイミングやその移動量を監視できるようになっている。なお、これらマスクステージ装置5350及びステージ制御装置5360は、マスク駆動装置を構成する。

【0243】

プロセスステージ装置5330は、プロセスチャンバ5370内に收容されている。照射光学系5320からのレーザ光ALは、ウィンドウ5370aを介してプロセスチャンバ5370内に配置したプロセスステージ装置5330にお保持されたワークW上に照射される。プロセスステージ装置5330の並進移動量や回転移動量は、ステージ制御装置5340によって監視されている。

【0244】

なお、プロセスチャンバ5370の上面に設けたウィンドウ5370aの隅部分の直上には、ワークアライメントカメラ5380が固定されている。このワークアライメントカメラ5380は、プロセスステージ装置5330上に載置されたワークWの位置ズレを検出するためのもので、結像光学系とCCD等の撮像素子からなる。ワークアライメントカメラ5380の画像信号出力は、画像処理装

置 5381 で処理される。画像処理装置 5381 が出力する信号は、主制御装置 53100 に入力され、照射光学系 5320 を構成する投影レンズ 5320c に対してワーク W を位置合わせする際に利用される。

【0245】

また、マスク 5320b の隅部分の直下には、撮像装置であるマスクアライメントカメラ 5384 が固定されている。このマスクアライメントカメラ 5384 は、マスクステージ装置 5350 に保持されたマスク 5320b の位置ズレを検出するためのもので、その画像信号出力は、画像処理装置 5385 で処理され、撮影した画像は表示装置であるディスプレイ 5386 に表示され、ワーク W に対してマスク 5320b を位置合わせする際に利用される。

【0246】

ここで、マスクステージ装置 5350 や投影レンズ 5320c は、プロセスチャンバ 5370 から延びる架台 5390 に固定されている。また、マスクアライメントカメラ 5384 も支持部材 5391 を介して架台 5390 に固定されている。この支持部材 5391 は、詳細な説明は省略するが、マスクアライメントカメラ 5384 のマスクステージ装置 5350 に対する位置を調整できるようになっている。つまり、マスクアライメントカメラ 5384 は、X-Y 面内で並進移動し、Z 軸の回りに回転移動するとともに、必要な調節移動が終了した後は、架台 5390 に対してしっかり固定することができるようになっている。

【0247】

以上の装置では、マスク 5320b をマスクステージ装置 5350 によって投影レンズ 5320c に対して移動させつつ、ディスプレイ 5386 によってマスクアライメントマーク AM の像を表示するので、マスク 5320b の位置を視覚的に確認しながらリアルタイムで精密かつ確実な位置決めを行うことができる。

【0248】

【発明の効果】

以下に本発明の効果を列挙する。

【0249】

(1) 光マスク上に形成した複数のパターンを半導体薄膜に投影露光して、半

導体薄膜の所定の領域を改質する半導体薄膜形成装置において、露光されるべき光を、上記光マスク上の所定の領域において、該領域内の光の強度分布が、該領域内の光の平均強度の±11.2%以内の範囲に含まれるように、均一化させる機構を有することによって、パターンが露光される所望の領域において、均一性の高い半導体薄膜の改質を行うことができた。LCDのようなイメージングデバイスへの応用時にも光源の強度ばらつきに起因した基板ダメージ、それによる画像品質の低下を防ぐことが可能になった。

【0250】

(2) 光マスク上に形成した露光パターンを、基板ステージに保持された基板上の半導体薄膜に投影露光して、半導体薄膜の所定の領域を改質する半導体薄膜形成装置において、光マスクまたは基板ステージを個別または同時に駆動することにより、露光パターンを順次走査することにした結果、基板上の任意の領域を順次高スループットで改質することが可能になった。LCDのようなイメージングデバイスへの応用時にも光源の強度ばらつきに起因した基板ダメージ、それによる画像品質の低下を防ぐことが可能になった。また、トラップ準位密度が 10^{12} cm^{-2} より低い値を示す結晶化シリコン膜の提供が可能になった。

【0251】

(3) 光マスク上に形成した露光パターンを半導体薄膜に投影露光して、半導体薄膜の所定の領域を改質する半導体薄膜形成装置において、露光パターンを半導体薄膜に投影露光する際の、露光パターンの半導体薄膜の前記所定の領域への焦点合わせを行う焦点合わせ機構を有することにより、改質処理の信頼性、再現性の高い半導体薄膜形成装置を提供することができた。

【0252】

(4) 光マスク上に形成したパターンを半導体薄膜に露光ビームにより投影露光して、半導体薄膜の所定の領域を改質する半導体薄膜形成装置において、露光ビームの半導体薄膜に対する傾きを補正する傾き補正機構を有することにより、改質処理の信頼性、再現性の高い半導体薄膜形成装置を提供することができた。

【0253】

(5) 光マスク上に形成したパターンを半導体薄膜に露光ビームにより投影露

光して、半導体薄膜の所定の領域を改質する半導体薄膜形成装置において、半導体膜が堆積された基板上に形成されたマークに対し、露光ビームの位置合わせを行うアライメント機能を有することにより、所望の領域へ μm オーダー以上の位置精度を持たせて露光することを可能にした。LCDのようなイメージングデバイスへの応用時にも光源の強度ばらつきに起因した基板ダメージ、それによる画像品質の低下を防ぐことが可能になった。

【0254】

(6) 光マスク上に形成したパターンを半導体薄膜に投影露光して、半導体薄膜の所定の領域を改質する半導体薄膜形成装置において、半導体膜が堆積された基板をステージ上に保持する機能を有することにより、改質処理の信頼性、再現性の高い半導体薄膜形成装置を提供することができた。

【0255】

(7) 光マスク上に形成したパターンを半導体薄膜に露光ビームにより投影露光して、半導体薄膜の所定の領域を改質する半導体薄膜形成装置において、複数のレーザ光を前記露光ビームとして合成する合成機構を有することによって、パターンが露光される所望の領域において、均一性の高い高品質な半導体薄膜の改質を行うことができた。併せて、基板上の任意の領域を順次高スループットで改質することが可能になった。

【0256】

(8) 上記(7)に記載の半導体薄膜形成装置において、前記複数のレーザ光が第1および第2のレーザ光であり、前記合成機構は、第1のレーザ光に対し第2のレーザ光が遅延して半導体薄膜に照射されるように、第1および第2のレーザ光を前記露光ビームとして合成することによって、パターンが露光される所望の領域において、均一性の高い高品質な半導体薄膜の改質を行うことができた。併せて、基板上の任意の領域を順次高スループットで改質することが可能になった。

【0257】

(9) 光マスク上に形成したパターンを基板上の半導体薄膜に投影露光して、半導体薄膜の所定の領域を改質する半導体薄膜形成装置において、大気に暴露す

ることなく別の処理室に基板を搬送する機構を有する半導体薄膜形成装置を提供することによって、単結晶半導体薄膜と同等の高品質かつ化学的に活性な表面を有する半導体薄膜を、不純物やゴミによる汚染を受けることなく次工程に送ることが可能となり、洗浄工程の削減による半導体装置製造コストの低減や、各真空装置内での排気時間や洗浄時間の削減によるスループットを向上させることができた。

【 0 2 5 8 】

(1 0) 上記 (9) に記載の半導体薄膜形成装置形成装置において、前記別の処理室が基板に絶縁膜を形成するための絶縁膜形成室であることを特徴とする半導体薄膜形成装置を提供することによって、単結晶半導体薄膜と同等の高品質かつ化学的に活性な表面を有する半導体薄膜を、不純物やゴミによる汚染を受けることなくゲート絶縁膜形成工程に送ることができ、シリコンとシリコン熱酸化との界面に形成されるような良好な半導体-絶縁体界面を有する半導体デバイス製造を、600℃以下の低温プロセスで実現した。トラップ準位密度が 10^{12} cm^{-2} より低い値を示す結晶化シリコン膜の提供が可能になるとともに低界面準位密度を示すシリコン-絶縁膜界面の提供を可能にした。

【 0 2 5 9 】

(1 1) 上記 (9) に記載の半導体薄膜形成装置形成装置において、前記別の処理室が基板に半導体膜を形成するための半導体膜形成室であることを特徴とする半導体薄膜形成装置を提供することによって、単結晶半導体薄膜と同等の高品質かつ化学的に活性な表面を有する半導体薄膜を形成するために必要な前記半導体膜を、不純物やゴミによる汚染を受けることなく光照射工程に送ることが可能となり、洗浄工程の削減による半導体装置製造コストの低減や、各真空装置内での排気時間や洗浄時間の削減によるスループットを向上させることができた。

【 0 2 6 0 】

(1 2) 上記 (9) に記載の半導体薄膜形成装置形成装置において、前記別の処理室が基板に加熱処理を施すための加熱処理室であることを特徴とする半導体薄膜形成装置を得ることができた。

【 0 2 6 1 】

(13) 上記(9)に記載の半導体薄膜形成装置形成装置において、前記別の処理室が基板にプラズマ処理を施すためのプラズマ処理室であることを特徴とする半導体薄膜形成装置を提供することによって、単結晶半導体薄膜と同等の高品質かつ化学的に活性な表面を有する半導体薄膜を、不純物やゴミによる汚染を受けることなく次工程に送ることが可能となり、洗浄工程の削減による半導体装置製造コストの低減や、各真空装置内での排気時間や洗浄時間の削減によるスループットを向上させることができた。

【0262】

(14) 上記(9)に記載の半導体薄膜形成装置形成装置において、前記処理室が、前記光マスク上に形成したパターンを前記基板上の半導体薄膜にレーザビームにより投影露光して、半導体薄膜の前記所定の領域を改質するためのレーザ処理室であり、前記別の処理室がもう一つのレーザ処理室であることを特徴とする半導体薄膜形成装置を提供することによって、単結晶半導体薄膜と同等の高品質かつ化学的に活性な表面を有する半導体薄膜を、不純物やゴミによる汚染を受けることなく次工程に送ることが可能となり、洗浄工程の削減による半導体装置製造コストの低減や、各真空装置内での排気時間や洗浄時間の削減によるスループットを向上させることができた。

【0263】

(15) 上記(9)～(13)に記載の半導体薄膜形成装置において、前記別の処理室は、該別の処理室内の所定の領域にプラズマを発生させるためのプラズマ発生源を有し、前記別の処理室内の前記所定の領域外の領域に基板が配置されることを特徴とする半導体薄膜形成装置を提供することによって、不純物やゴミによる汚染を受けることなく次工程に送られた単結晶半導体薄膜と同等の高品質かつ化学的に活性な表面を有する半導体薄膜へのプラズマダメージを抑制することを実現した。

【0264】

(16) 上記(9)～(13)に記載の半導体薄膜形成装置において、前記別の処理室は、該別の処理室内の所定の領域にプラズマを発生させるためのプラズマ発生源を有し、前記別の処理室は、前記所定の領域の前記プラズマにより励起

されたガスと、前記所定の領域を介さずに前記別の処理室内に導入される別のガスとを反応させることにより、前記基板に前記プラズマ処理を施すものであることを特徴とする半導体薄膜形成装置を提供することによって、シリコンとシリコン熱酸化との界面に形成されるような良好な半導体-絶縁体界面を有する半導体デバイス製造を、400℃以下の低温プロセスで実現した。

【図面の簡単な説明】

【図1】

従来のエキシマレーザアニール装置の概念図である。

【図2】

従来のレーザ運転方法を説明するためのタイミングチャートである。

【図3】

レーザパルス強度のパルス間分布の例を示した図である。

【図4】

シリコン膜温度変化の例を示した図である。

【図5】

レーザパルス波形の一例を示した図である。

【図6】

照射強度と冷却速度、非晶質化が生じる冷却速度を示した図である。

【図7】

シリコン薄膜温度変化の計算結果例を示した図である。

【図8】

各照射強度に対するシリコン薄膜の結晶形態を示す図である。

【図9】

第2パルス投入後の最大冷却速度と凝固点近傍の冷却速度を示した図である。

【図10】

平均結晶粒径のプロセス条件依存性を示した図である。

【図11】

本発明の露光装置の実施の形態（全体）を説明するための図である。

【図12】

本発明の露光装置の実施の形態（アライメント方法）を説明するための 図である。

【図 13】

本発明の露光装置の実施の形態（マスク投影法）を説明するための 図である。

【図 14】

本発明の露光装置の実施の形態（制御例）を説明するための タイミングチャートである。

【図 15】

本発明の露光装置、搬送室、プラズマCVD室の側面断面図である。

【図 16】

本発明の露光装置、搬送室、プラズマCVD室等複合装置の平面図である。

【図 17】

本発明のプラズマCVD室の側面断面図である。

【図 18】

本発明のTFT製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 19】

本発明のアライメントマークを用いたTFT製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 20】

本発明のアライメントマーク形成を含むTFT製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 21】

本発明による複数の光源のパルス発振遅延制御の実施例を説明するために使用する図である。

【図 22】

本発明による複数の光源のパルス発振遅延の例を説明するために使用する図である。

【図 23】

本発明による焦点調節装置を組み込んだレーザアニール装置を示した図である。

【図 2 4】

本発明による複合機の概略構成を示した図である。

【図 2 5】

図 2 4 におけるベローズを拡大して示した図である。

【図 2 6】

図 2 4 におけるプロセスチャンバと除振台との関係を示した図である。

【図 2 7】

図 2 6 における除振台の構造を拡大して示した図である。

【図 2 8】

本発明による真空内リニアアクチュエータ駆動機構の縦断面図である。

【図 2 9】

図 2 8 の線 C - C による縦断面図である。

【図 3 0】

図 2 8 の駆動機構の概略構成を説明するための図である。

【図 3 1】

本発明によるマスクステージ駆動機構の平面図である。

【図 3 2】

図 3 1 の線 B - B による縦断面図である。

【図 3 3】

本発明による空気圧式チルト機構を備えたステージ装置を、ステージを除いた状態で示す平面図である。

【図 3 4】

本発明による空気圧式チルト機構の側面図である。

【図 3 5】

本発明による戻り光除去方法と装置を説明するための図である。

【図 3 6】

本発明の実施形態の構成を示す縦断面図である。

【図 3 7】

隔壁部に形成された各種の孔の拡大断面図である。

【図 3 8】

本発明の実施形態の構成を示す縦断面図である。

【図 3 9】

本発明の実施形態の構成を示す縦断面図である。

【図 4 0】

本発明に係る D P R 式による参加ケイ素薄膜の成膜装置の構成を示すブロック図である。

【図 4 1】

材料ガスの供給量の変化状態の一例を示すグラフである。

【図 4 2】

材料ガスの供給量の変化状態の他の例を示すグラフである。

【図 4 3】

本発明の実施形態の薄膜作成装置の側断面概略図である。

【図 4 4】

図 4 3 に示す装置の搬送チャンバーに設けられた改質種供給部 8 1 3 3 の構成を示す側断面概略図である。

【図 4 5】

本発明による複数ビームの合成光学系の実施例を説明するために使用する図である。

【図 4 6】

本発明による複数ビームの合成光学系の実施例を説明するために使用する図である。

【図 4 7】

本発明によるマスクステージ機構の実施例を説明するために使用する図である。

【図 4 8】

本発明によるマスクステージ機構の実施例を説明するために使用する図である。

【図 4 9】

本発明による矩形ビーム用精密アライメント装置と方法を説明するために使用する図である。

【図 5 0】

本発明を説明するために使用するアライメントマーク配置例を示した図である。

【図 5 1】

アライメントマークの配置を説明する斜視図である。

【図 5 2】

本発明の実施形態であるレーザアニーリング装置の構造を示す図である。

【符号の説明】

- 5 4 1 0 レーザ光源
- 5 4 2 0 照射光学系
- 5 4 2 1 ホモジナイザ
- 5 4 2 2 マスク組立体
- 5 5 2 2 a マスク
- 5 5 2 2 b 反射部材
- 5 5 2 2 c フィールドレンズ
- 5 4 2 3 投影レンズ
- 5 5 2 5 反射ミラー
- 5 5 2 6 ビームダンパ
- 5 4 3 0 プロセスステージ装置
- 5 4 4 0 マスクステージ装置
- 5 4 5 0 プロセスチャンバ
- 5 4 5 0 a ウィンドウ
- 5 4 6 5 架台
- L S 矩形スリット
- O A 光軸

SS 矩形スリット

W ワーク

5310 レーザ光源

5320 照射光学系

5320a ホモジナイザ

5320b マスク

5320c 投影レンズ

5330 プロセスステージ装置

5340 ステージ制御装置

5350 マスクステージ装置

5360 ステージ制御装置

5370 プロセスチャンバ

5380 ワークアライメントカメラ

5384 マスクアライメントカメラ

5386 ディスプレイ

53100 主制御装置

AL レーザ光

AM マスクアライメントマーク

W ワーク

5201 ステージ

5102 ベース

5202-1 支持台

5103 板ばね

5104-1~5104-3 ベローズシリンダ

5105-1~5105-3 変位センサ

4601 ベースプレート1

4702 ロータリエンコーダ

4703 クロスローラベアリング

4704-1 回転軸

4604	θ 軸可動部
4605	θ 軸駆動モータ
4706	Y 軸リニアベアリング
4707	Y 軸可動部
4608	Y 軸リニアモータ
4709	Y 軸リニアエンコーダ
4610	X 軸可動部
4710-1	ボス
4611	リフト用エアベアリング
4612	X 軸リニアエンコーダ
4713	X 軸リニアモータ
4714	マスク
4615、4616	ヨーガイド用エアベアリング
4617	引っ張りバネ
4718	マグネット
4620	プリロード用のピストン
4301	ワーク
4302	ステージ
4403	トロリ
4304	水冷板
4306	X 軸ベース
4307	X 軸リニアベアリング
4408	X 軸リニアモータ
4309	ステージベース
4410	X 軸リニアエンコーダ
4314	Y 軸ベース
4315、4320	Y 軸リニアベアリング
4318、4323	Y 軸リニアモータ
4316、4321	Y 軸リニアエンコーダ

4 3 1 0 0	真空チャンバ
3 9 0 1	ガラス基板
3 9 1 0	CVD装置
3 9 2 0	レーザアニーリング装置
3 9 2 1	プロセスチャンバ
3 9 2 2	プロセスステージ
3 9 2 3	透過窓
3 9 2 4	架台
3 9 2 5	レーザ照射系
3 9 2 6	レーザ発振器
3 9 2 7	反射ミラー
3 9 2 8	マスクステージ
3 9 2 9	レンズ光学系
3 9 4 0	除振台
4 2 4 2	エア式ダンパ
4 2 4 4	コンプレッサ
4 2 4 6	ピストン部
4 2 4 7	第1のストッパ部材
4 1 4 8	第2のストッパ部材
4 1 4 9	位置検出器
3 9 5 0	床
3 9 6 0	基板搬送ロボット
3 9 7 0	トランスファチャンバ
3 9 7 1	ベローズ
4 2 1 0 0	制御装置
3 7 1 0	レーザ光源
3 7 2 0	照射光学系
3 7 3 0	ステージ
3 7 4 0	ステージ駆動装置

3 7 4 2 チルト装置
3 7 4 4 並進装置
3 7 5 0 移動量計測装置
3 7 6 0 傾斜計測装置
3 7 7 0 非接触変位計
3 7 7 1 投光部
3 7 7 2 受光部
3 7 8 0 主制御装置
3 7 9 0 チャンバ
D L 検査光
R L 反射光
T 計測ターゲット
W ワーク
 $\theta X, \theta Y$ チルト角
3 5 1 0 レーザ光源
3 5 2 0 照射光学系
3 5 3 0 ステージ
3 5 4 0 ステージ駆動装置
3 5 5 0 移動量計測装置
3 5 6 0 投影光学系
3 5 6 1 a, 3 5 6 1 b 第 1 レンズ系
3 5 6 2 a, 3 5 6 2 b 第 2 レンズ系
3 5 6 5 照明用ランプ
3 5 7 1, 3 5 7 2 第 1 及び第 2 撮像装置
3 5 7 3, 3 5 7 4 カメラ
3 5 8 0 画像処理装置
3 5 8.5 主制御装置
I L 像光
M1, M2 第 1 及び第 2 アライメントマーク

3310 レーザ光源
3320 照射光学系
3321 ホモジナイザ
3322 マスク組立体
3322a マスク
3322b 反射部材
3322c フィールドレンズ
3422d マスクホルダ本体
3422g 陥凹部
3323 投影レンズ
3425 固定ナット
3425g 陥凹部
3330 プロセスステージ装置
3340 マスクステージ装置
3340a 挿入口
3350 プロセスチャンバ
3350a ウィンドウ
3365 架台
3370 治具
3470a 本体
3470b 支持部材
3470c ハンドル
3471 引掛け部材
AL レーザ光
TP1 テーパ外面
TP2 テーパ内面
W ワーク
3110 レーザ発生部
3111 第1レーザ発振装置

- 3 1 1 2 第 2 レーザ発振装置
- 3 1 1 3 発振制御装置
- 3 1 2 0 レーザ照射処理部
- 3 1 2 1 投影光学系
- 3 1 2 2 ステージ
- 3 1 2 3 ステージ駆動系
- 3 1 3 0 主制御装置
- 3 1 5 1 基準パルス発生回路
- 3 1 5 2 デイレイ時間設定回路
- 3 1 5 3 演算回路
- 3 1 5 4 トリガパルス発生回路
- 3 1 5 5 デイレイ時間検出回路
- 3 1 6 1, 3 1 6 2 フォトセンサ
- 3 1 6 3, 3 1 6 4 アンプ
- 3 1 7 0 光合成系
- W 基板
- 3 2 1 0 ステージ
- 3 2 2 1, 3 2 2 2 レーザ光源
- 3 2 3 0 合成光学系
- 3 2 3 1, 3 2 3 2 ナイフエッジミラー
- 3 2 4 0 照射光学系
- 3 2 4 1 ホモジナイザ
- 3 2 4 2 マスク
- 3 2 4 3 投影レンズ
- 3 2 5 0 マスク駆動装置
- 3 2 6 0 ステージ駆動装置
- 3 2 7 1 ダイバージェンス光学系
- 3 2 7 2 テレスコープ光学系
- 3 2 8 0 位置検出装置

3 2 1 0 0 主制御装置

A B 線条ビーム

C L 合成光

L B 1 第 1 ビーム

L B 2 第 2 ビーム

W ワーク

7 1 1 1 ガラス基板

7 1 1 2 真空容器

7 1 1 4 隔壁部

7 1 1 5 プラズマ生成空間

7 1 1 6 成膜処理空間

7 1 1 7 基板保持機構

7 1 2 0 電極

7 1 2 3 導入パイプ

7 1 2 4 内部空間

7 1 2 5 貫通孔

7 1 2 6 拡散孔

7 1 2 7 均一板

7 1 2 8 導入パイプ

7 3 3 3 板状絶縁部材

7 4 2 3 第 2 導入パイプ

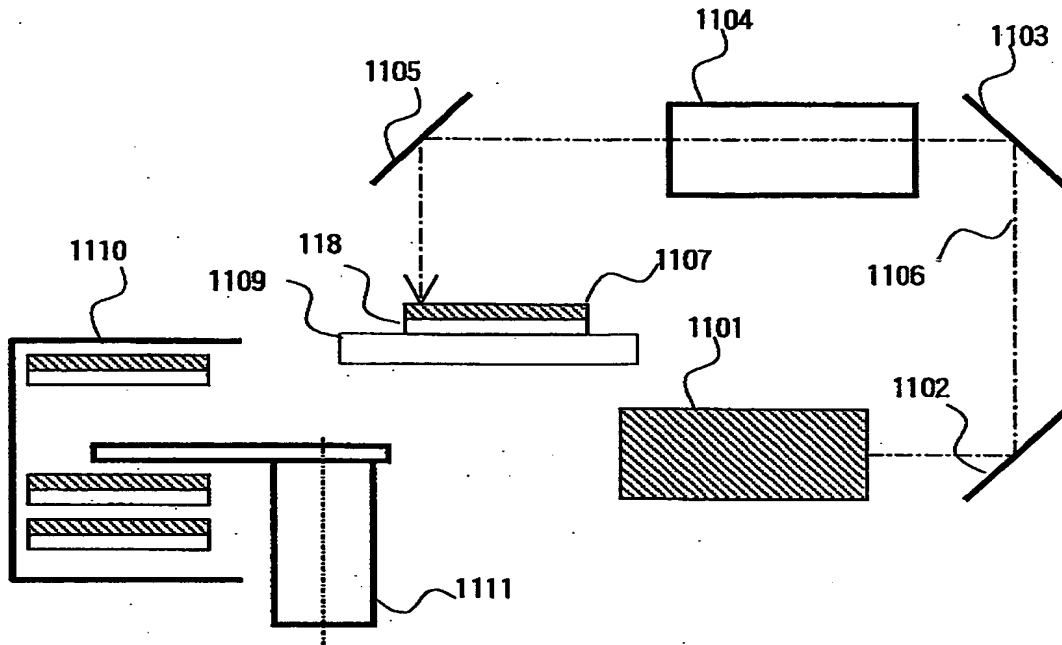
7 5 1 2 成膜用材料ガス供給装置

7 5 1 3 マスフローコントローラ (MFC)

7 5 1 4 上位コントローラ

【書類名】 図面

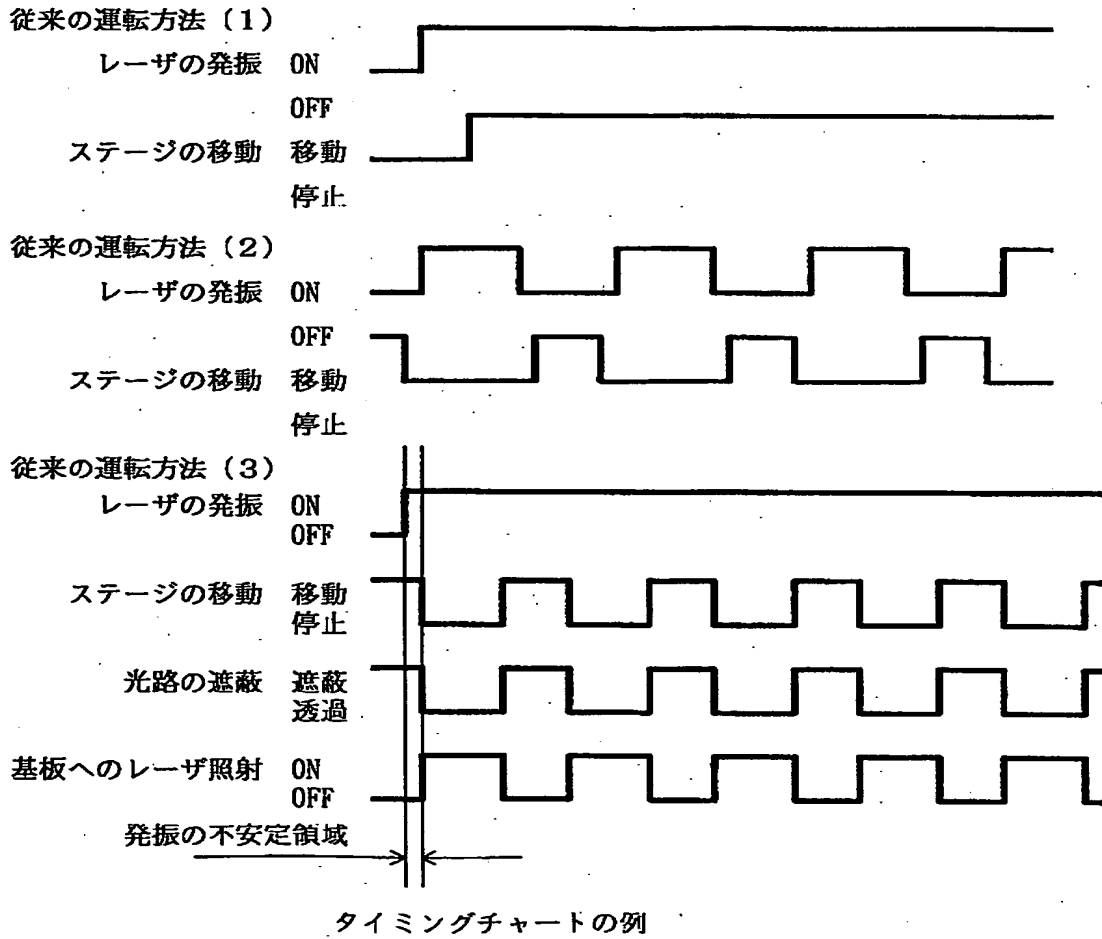
【図 1】



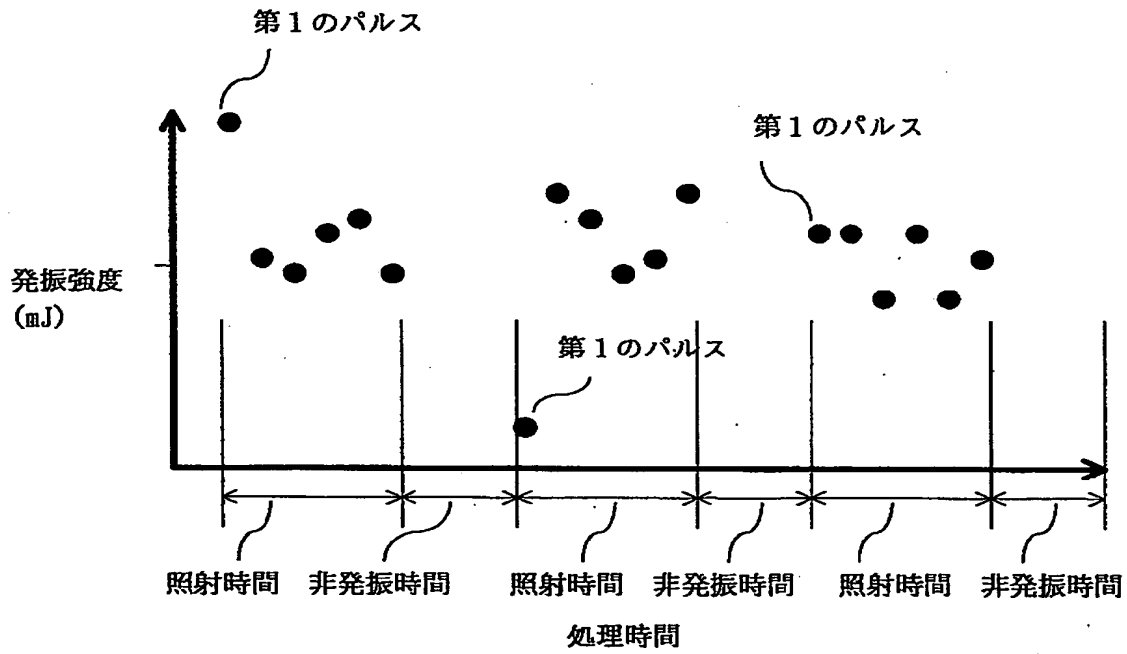
- | | |
|------|-------------|
| 1101 | パルスレーザー光源 |
| 1102 | ミラー |
| 1103 | ミラー |
| 1104 | ビームホモジナイザ |
| 1105 | ミラー |
| 1106 | 光路 |
| 1107 | シリコン薄膜 |
| 1108 | ガラス基板 |
| 1109 | xyステージ |
| 1110 | ガラス基板入りカセット |
| 1111 | 基板搬送機構 |

従来の ELA 装置概念図

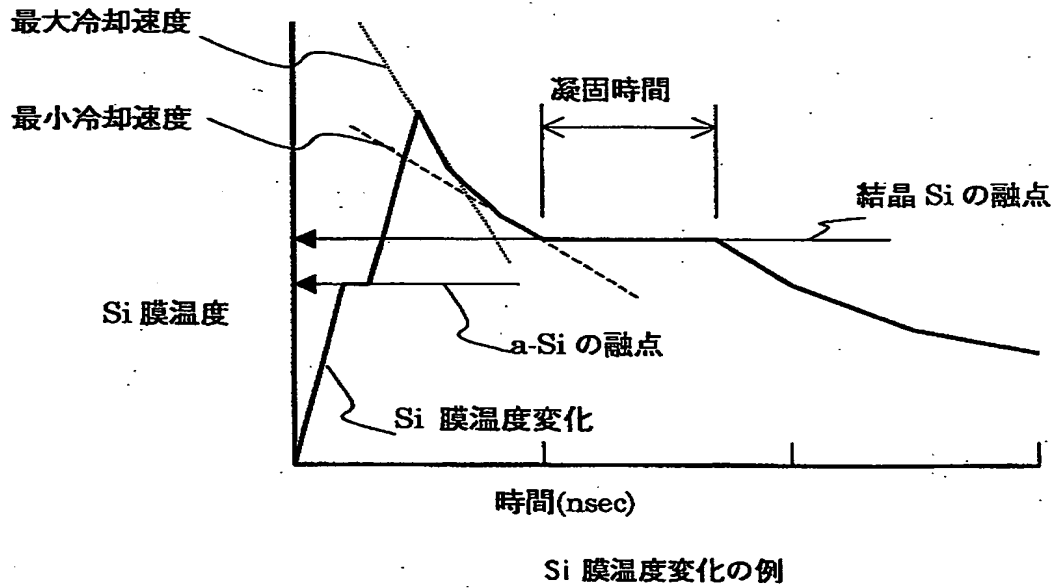
【図 2】



【図 3】



【図 4】

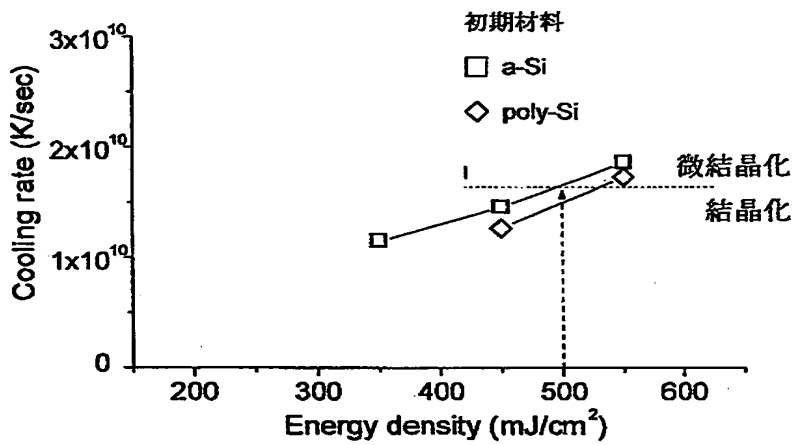


【図 5】



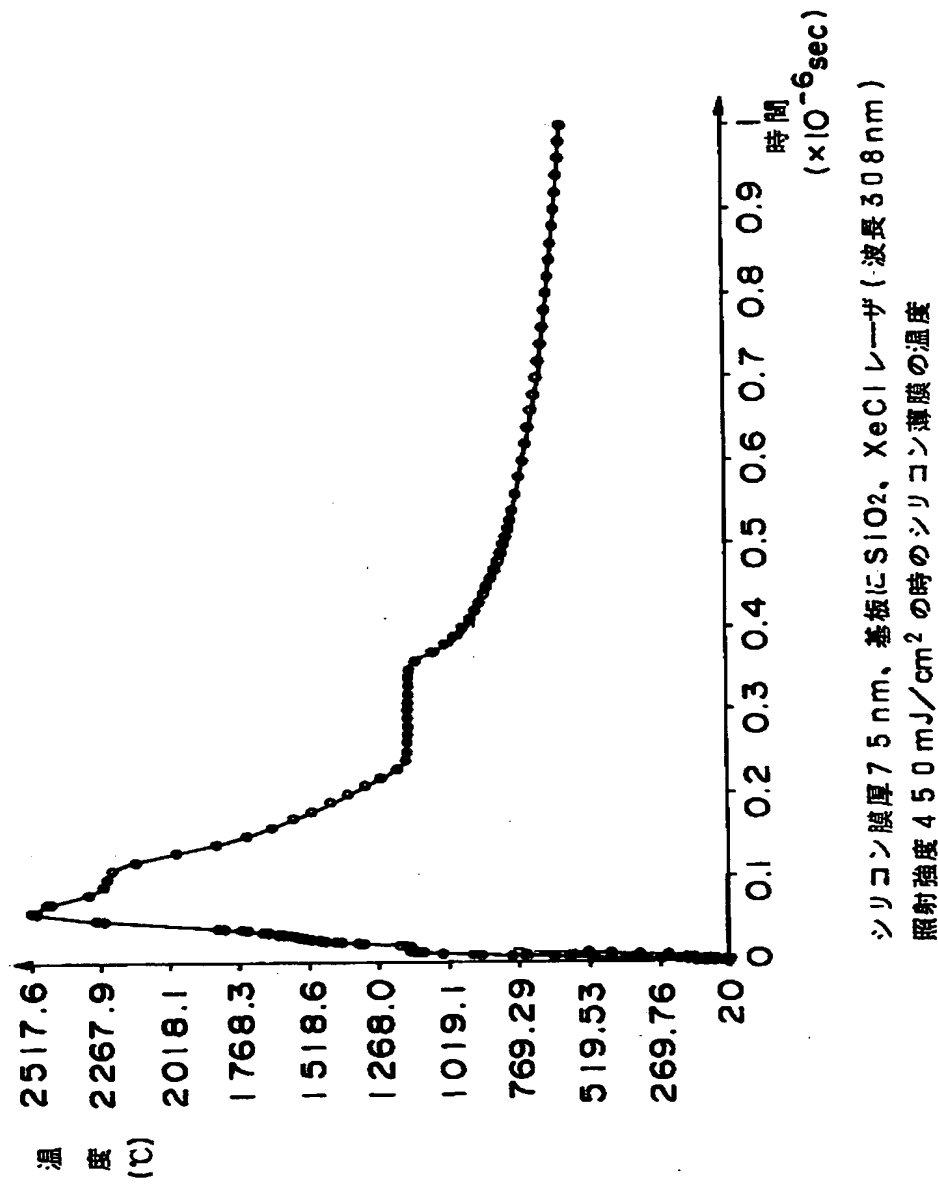
20 nsec/div
レーザのパルス波形の一例

【図 6】

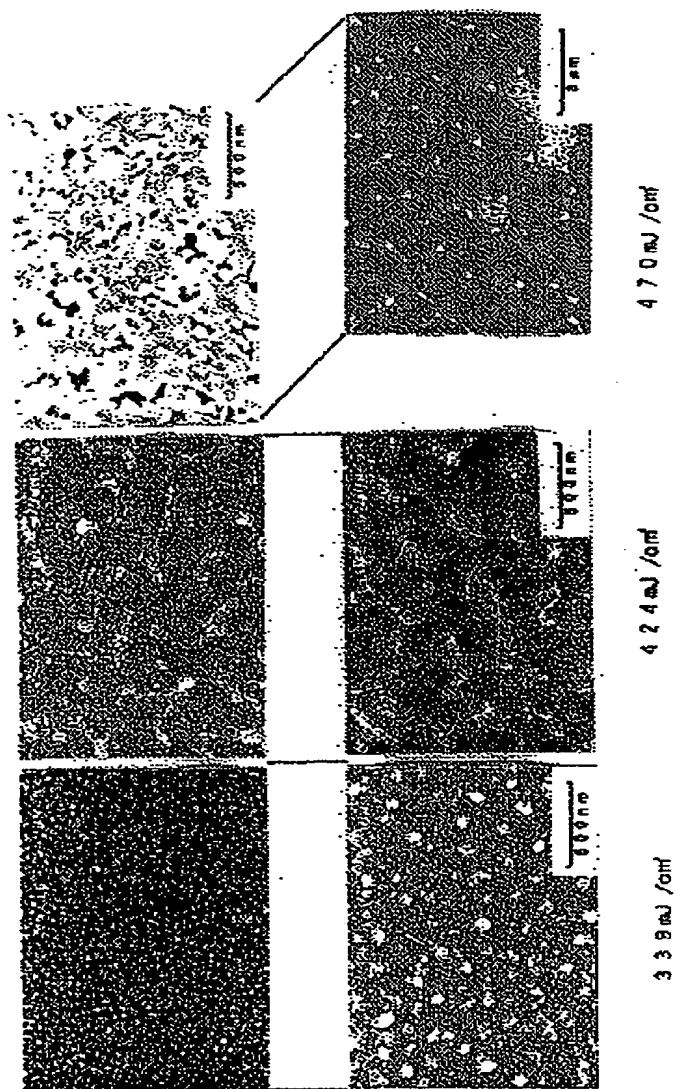


照射強度と冷却速度および非晶質化が生じる冷却速度

【図 7】

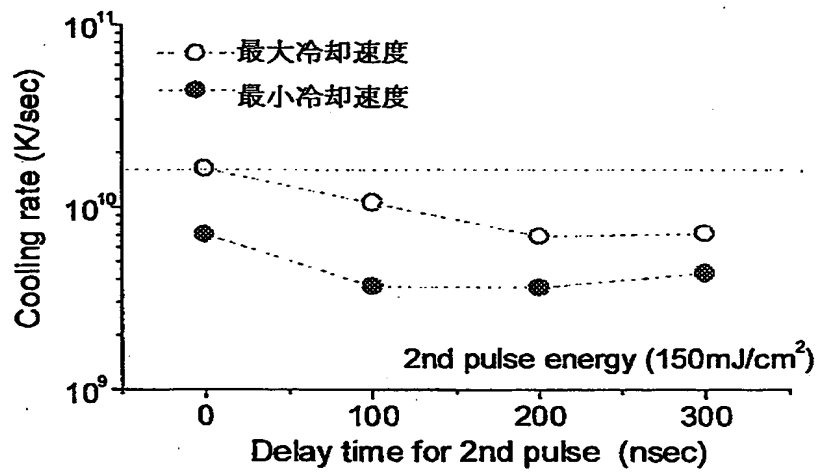


【図 8】



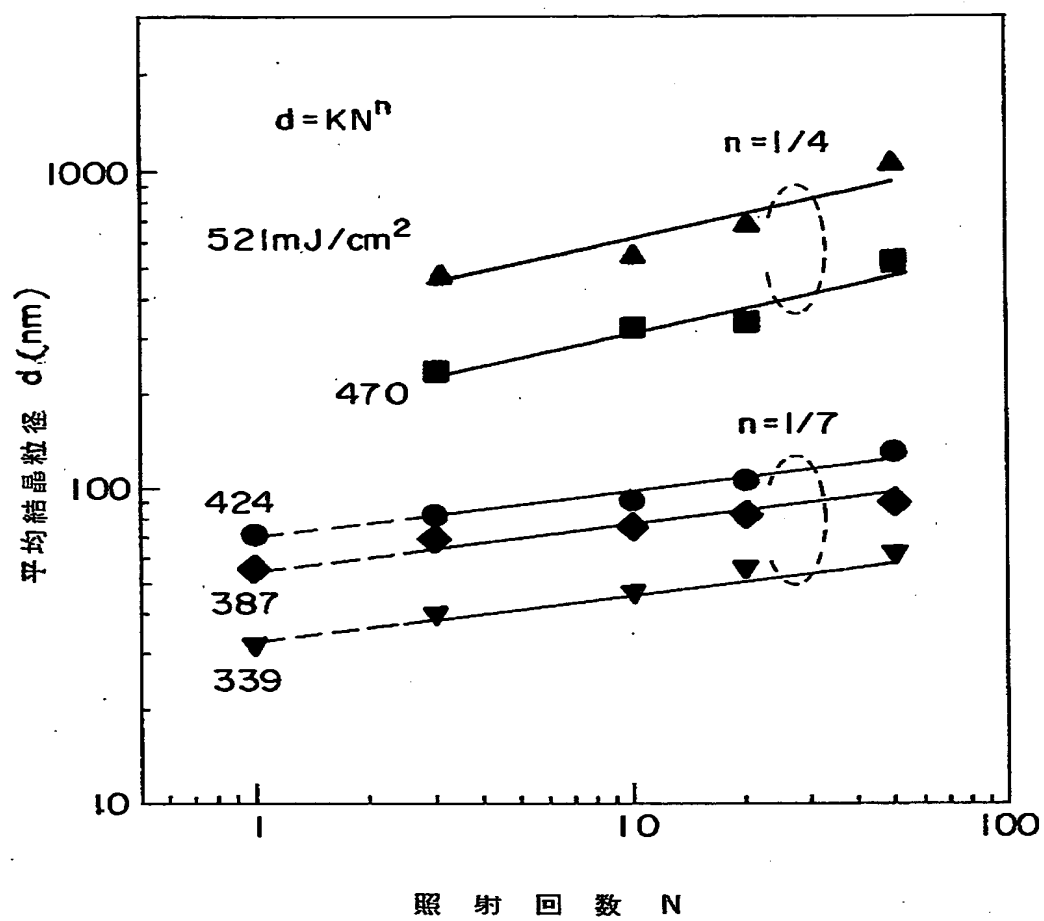
照射強度、照射回数に対するレーザ再結晶化膜の電子顕微鏡写真
セコエッチング処理後

【図 9】

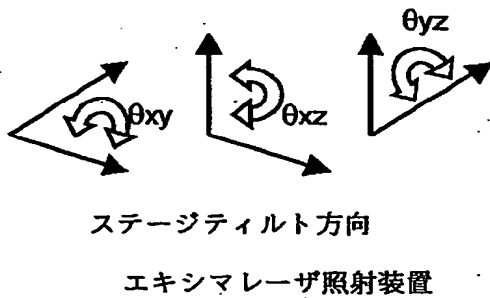
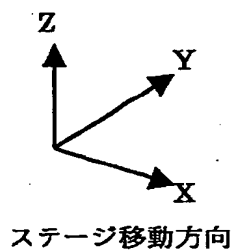
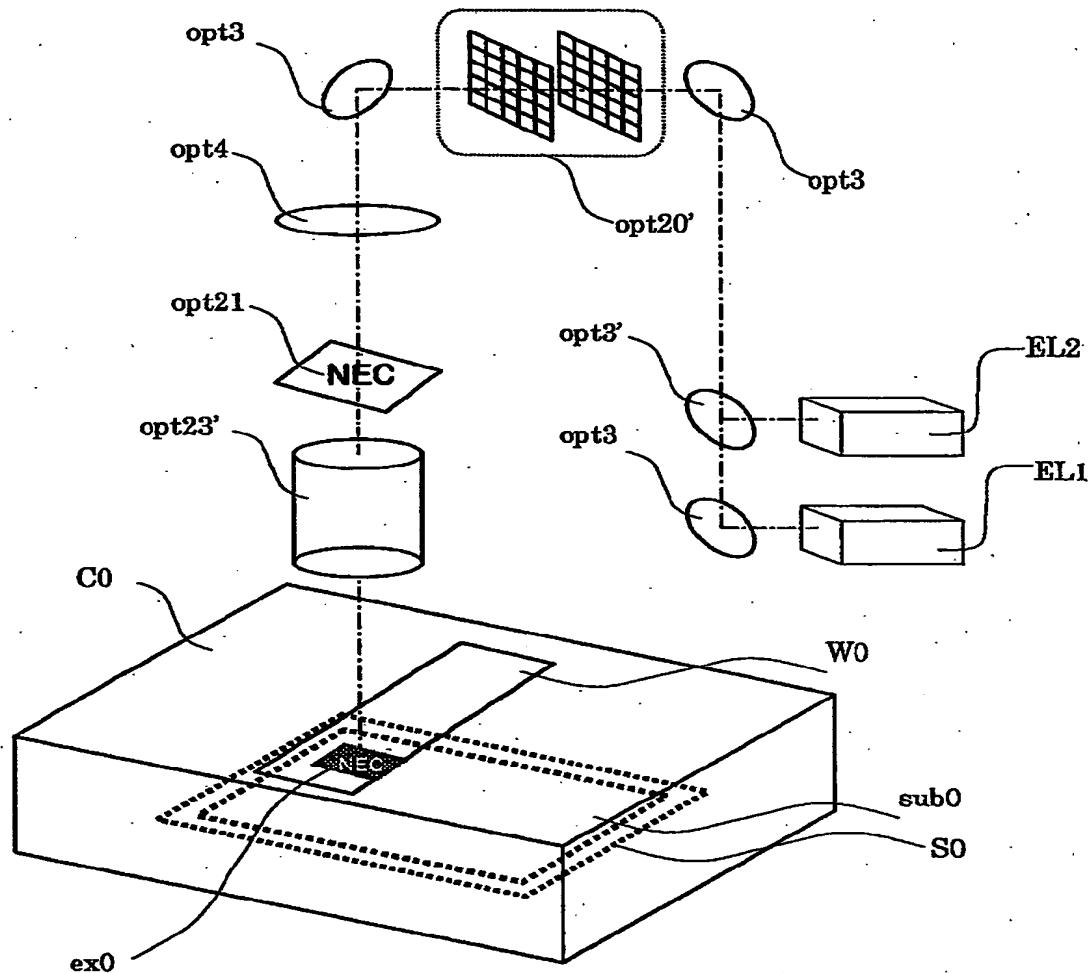


第2パルス投入後の最大冷却速度と凝固点近傍の冷却速度

【図 10】

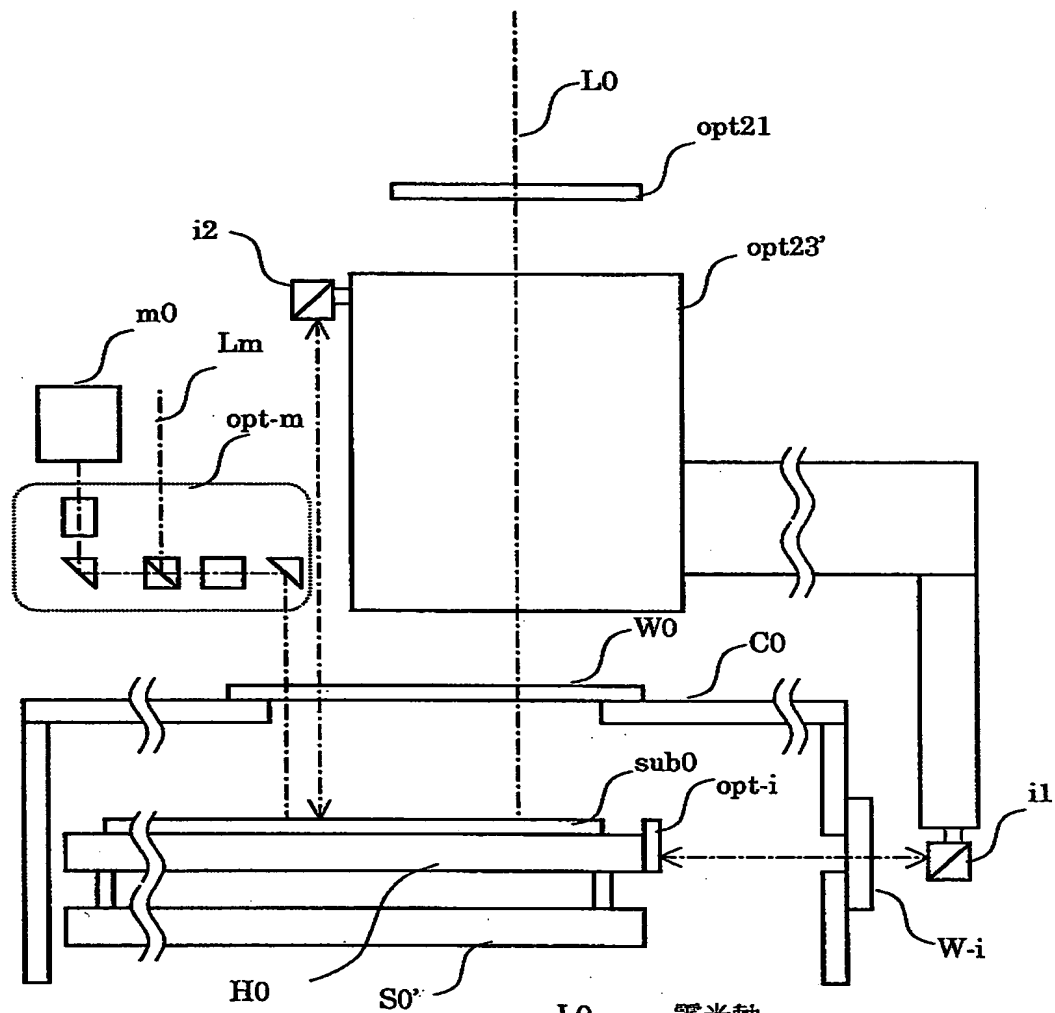


【図 11】



- | | |
|---------------|------------|
| EL1 | 第1のエキシマレーザ |
| EL2 | 第2のエキシマレーザ |
| opt20' | ホモジナイザ |
| opt21 | 光学マスク |
| opt23' | 縮小投影露光装置 |
| opt3, opt3' | ミラー類 |
| opt4 | レンズ類 |
| W0 | レーザ導入窓 |
| C0 | 真空チャンバ |
| sub0 | 基板 |
| S0 | 基板ステージ |
| ex0 | パターン転写領域 |
| θ_{xy} | 傾き補正方向 |
| θ_{xz} | 傾き補正方向 |
| θ_{yz} | 傾き補正方向 |
| X | 露光領域移動方向 |
| Y | 露光領域移動方向 |
| Z | 焦点合わせ方向 |

【図 12】



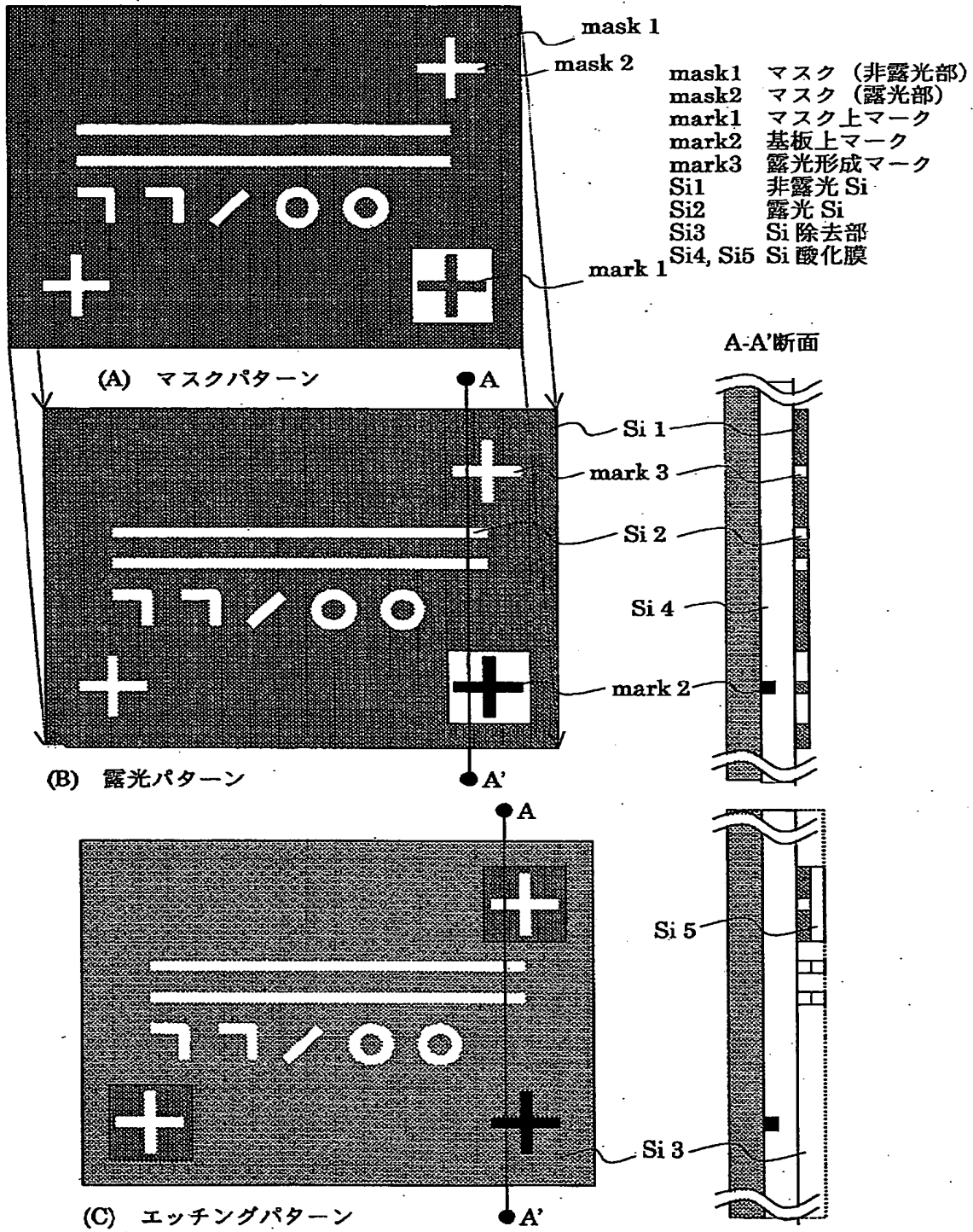
L0 露光軸
 opt21 光学マスク
 opt23' 縮小投影露光装置
 W0 レーザ導入窓
 C0 真空チャンバ
 sub0 基板
 H0 基板吸着機構付きヒータ
 S0' 基板 XYZ $\theta_{xy}\theta_{xz}\theta_{yz}$ ステージ

i1, i2 レーザ干渉計
 W-i 測長用窓
 opt-i 測長用ミラー

m0 オフアキシス顕微鏡
 Lm 顕微鏡用光源
 opt-m 顕微鏡用素子

アライメント機構

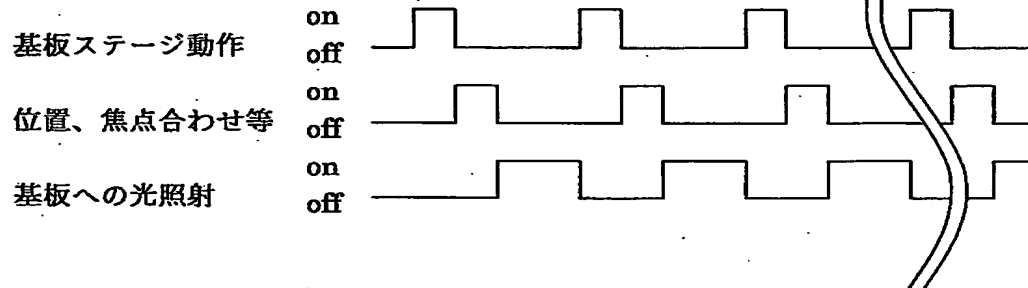
【図 1 3】



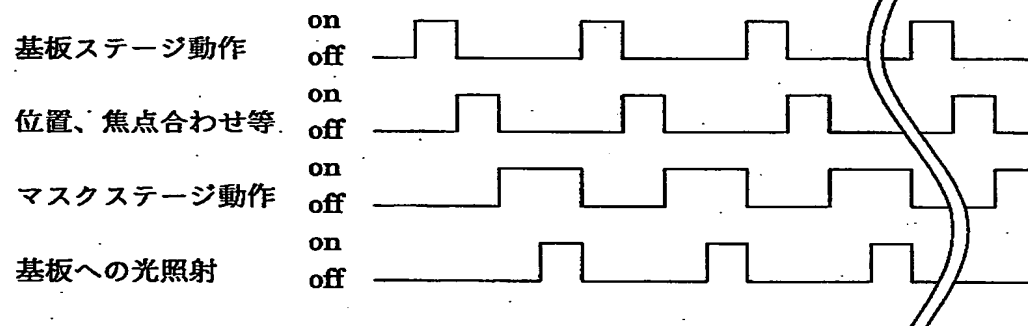
ELA パターン転写とアライメントマーク

【図 14】

制御例 (1)

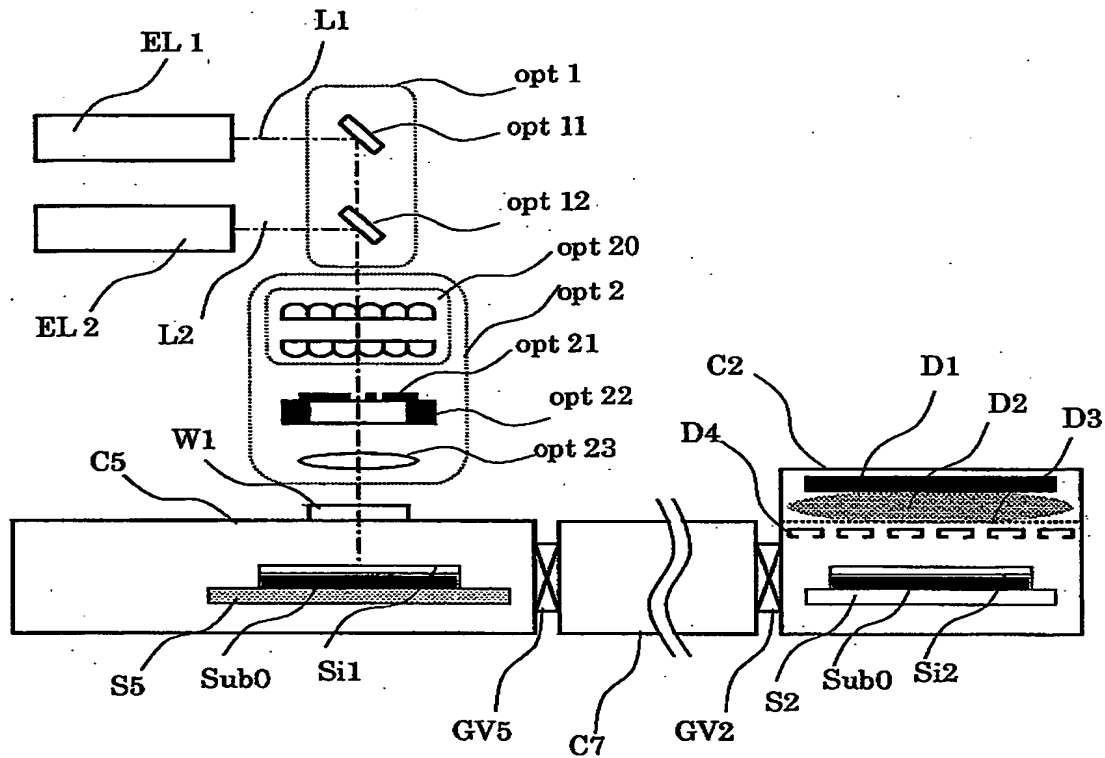


制御例 (2)



ステージ動作タイミングチャート

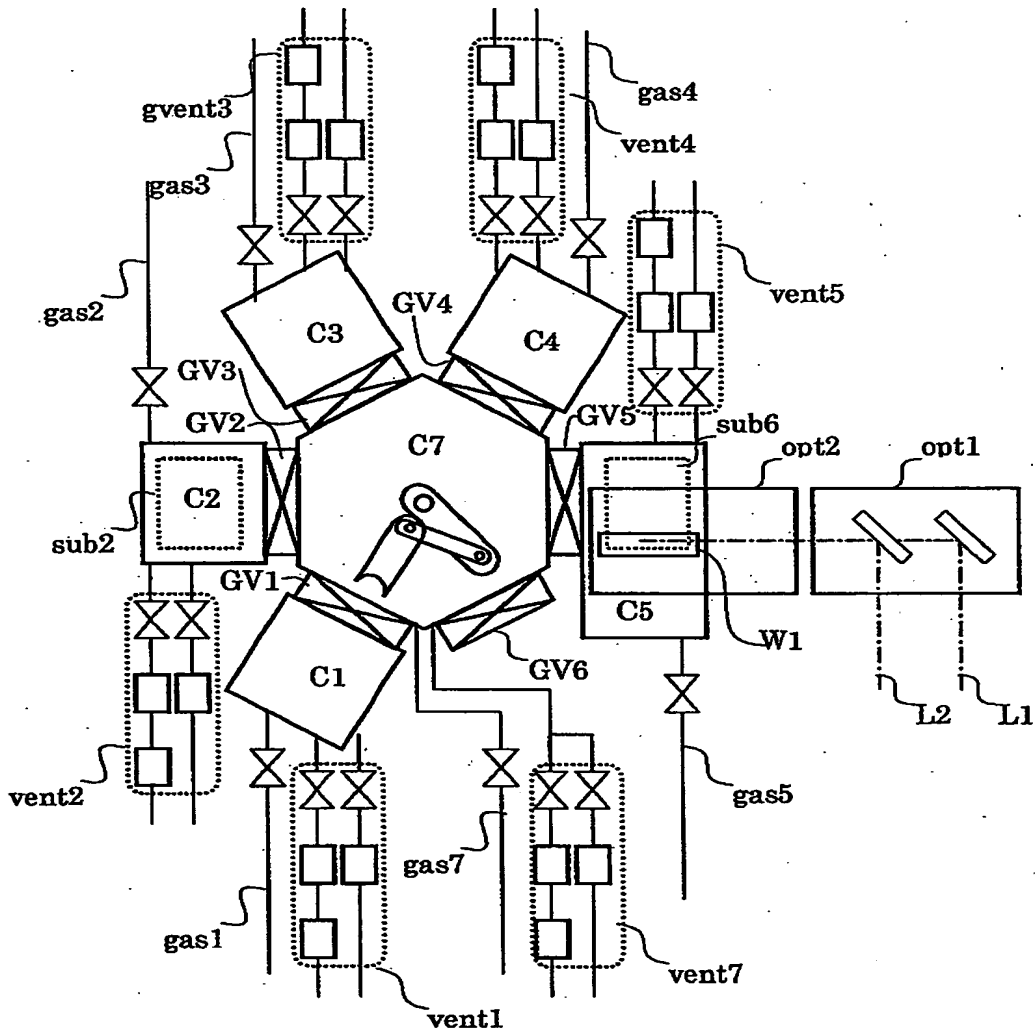
【図 15】



- | | |
|----------|------------|
| C2 | プラズマCVD室 |
| C5 | レーザ照射室 |
| C7 | 基板搬送室 |
| GV2, GV5 | ゲートバルブ |
| S2 | 基板ホルダー |
| S5 | 基板ステージ |
| Sub0 | ガラス基板 |
| Si1 | シリコン薄膜 |
| Si2 | 結晶性シリコン薄膜 |
| EL1 | エキシマレーザ1 |
| EL2 | エキシマレーザ2 |
| L1 | 第1のビームライン |
| L2 | 第2のビームライン |
| W1 | レーザ導入窓 |
| D1 | RF電極 |
| D2 | プラズマ形成領域 |
| D3 | プラズマ閉じこめ電極 |
| D4 | 原料ガス導入装置 |
| opt1 | レーザ合成光学装置 |
| opt11 | ミラー |
| opt12 | 透過ミラー |
| opt2 | レーザ照射光学装置 |
| opt20 | ホモジナイザ |
| opt21 | 光学マスク |
| opt22 | 光学マスクステージ |
| opt23 | 投影光学装置 |

プラズマCVD室-基板搬送室-
レーザ照射室

【図 1 6】



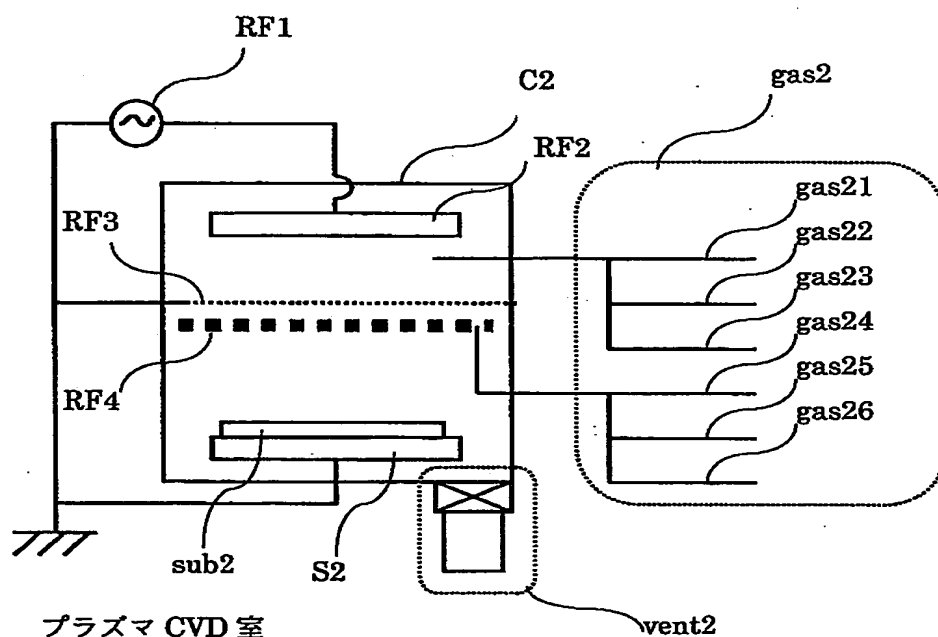
クラスター型配置

C1 ロード／アンロード室
C2 プラズマ CVD 室
C3 基板加熱室
C4 水素プラズマ処理室
C5 レーザ照射室
C7 基板搬送室

GV1～GV6 ゲートバルブ
W1 レーザ導入窓
L1 第1のビームライン
L2 第2のビームライン
opt1 レーザ合成光学装置
opt2 レーザ照射光学装置
gas1～gas7 ガス導入装置
vent1～vent7 排気装置

sub2, sub6 処理基板

【図 1 7】

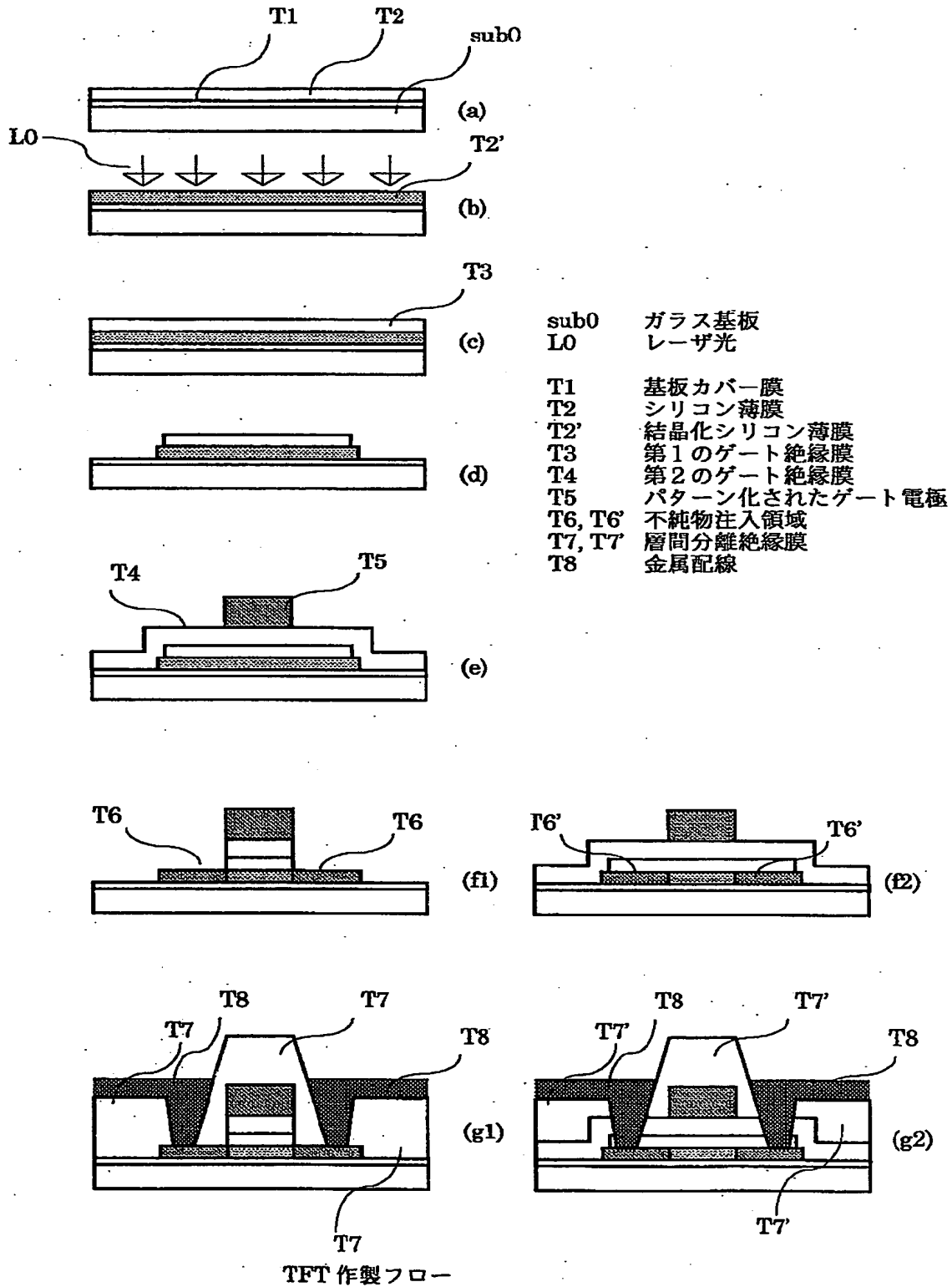


C2 プラズマ CVD 室
 RF1 高周波電源
 RF2 高周波電極
 RF3 ガス供給穴付き電極
 RF4 平面型ガス導入装置
 sub2 基板
 S2 基板ホルダー
 vent2 排気装置

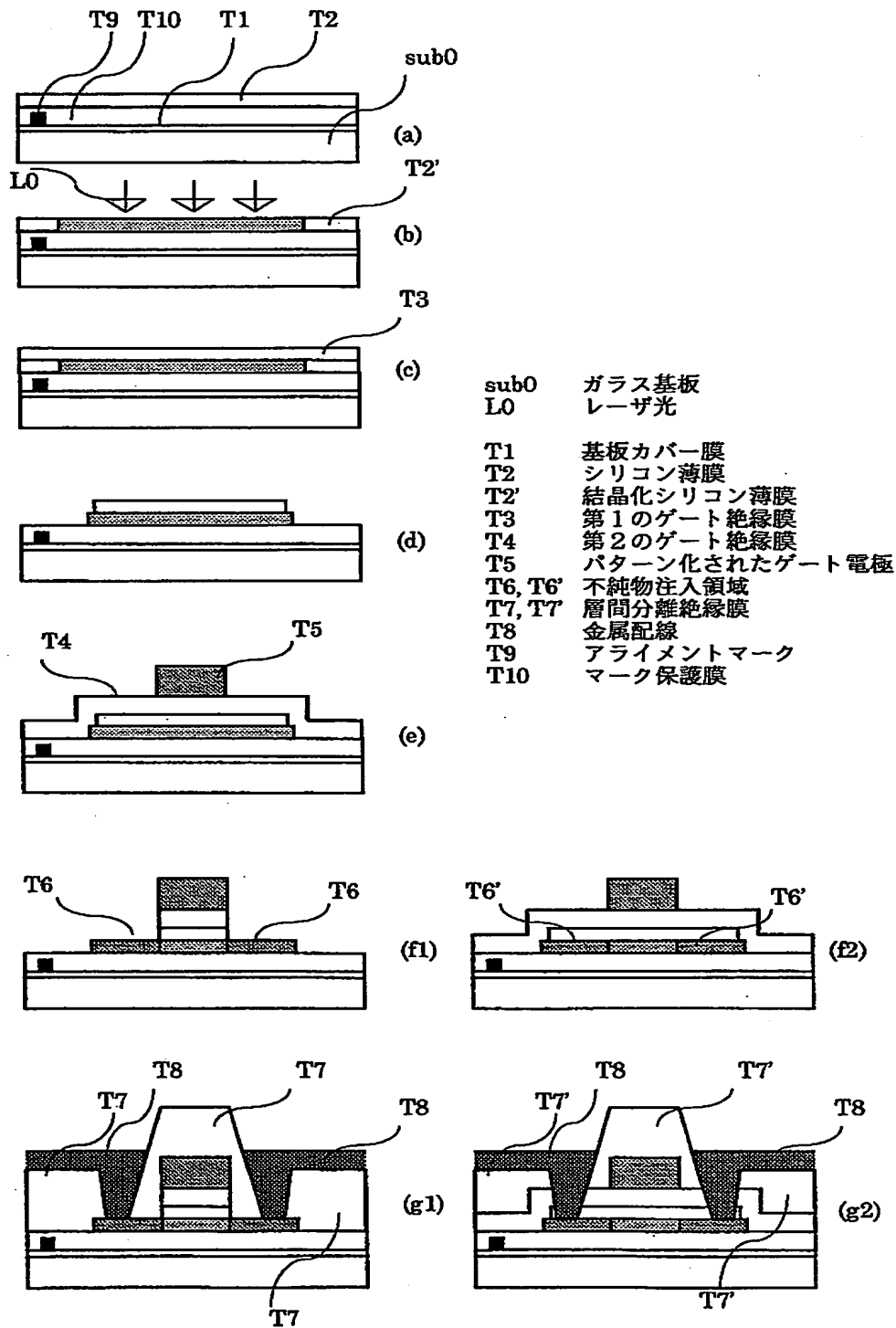
gas2 ガス導入装置
 gas21 酸素ライン
 gas22 ヘリウムライン
 gas23 水素ライン
 gas24 シランライン
 gas25 ヘリウムライン
 gas26 アルゴンライン

リモートプラズマCVD

【図 18】

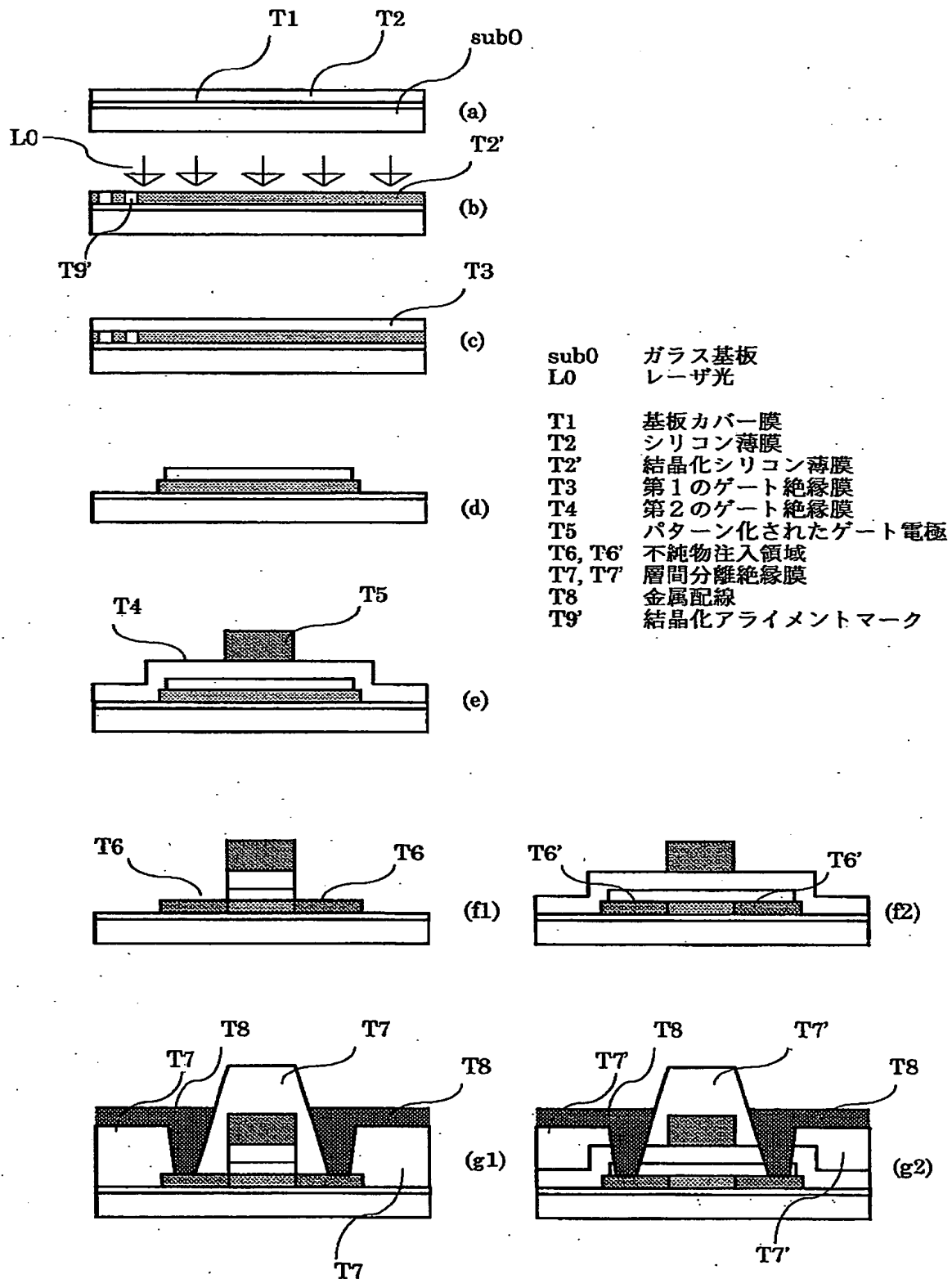


【図 19】



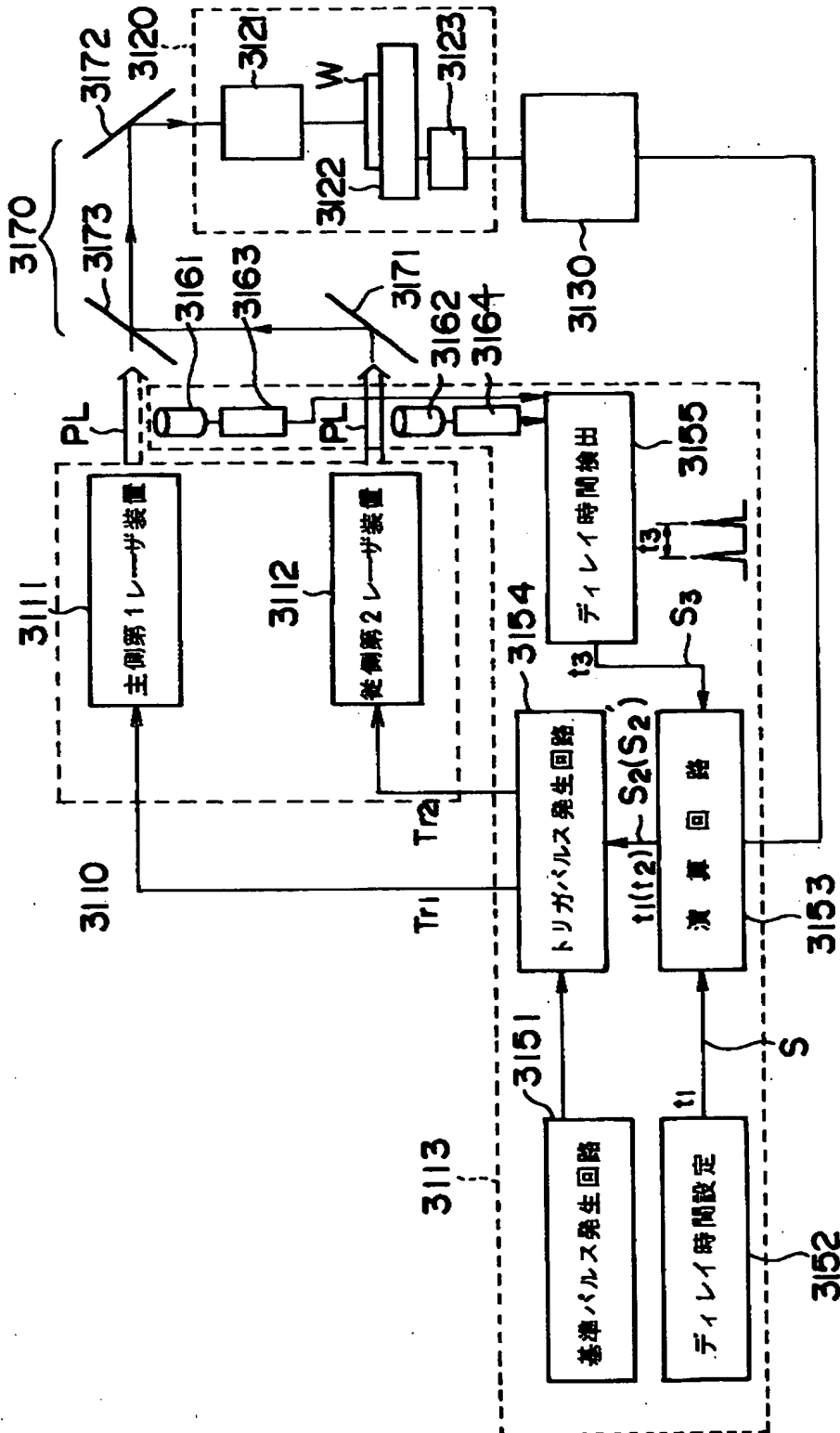
マークを用いた TFT 作製フロー

【図 20】

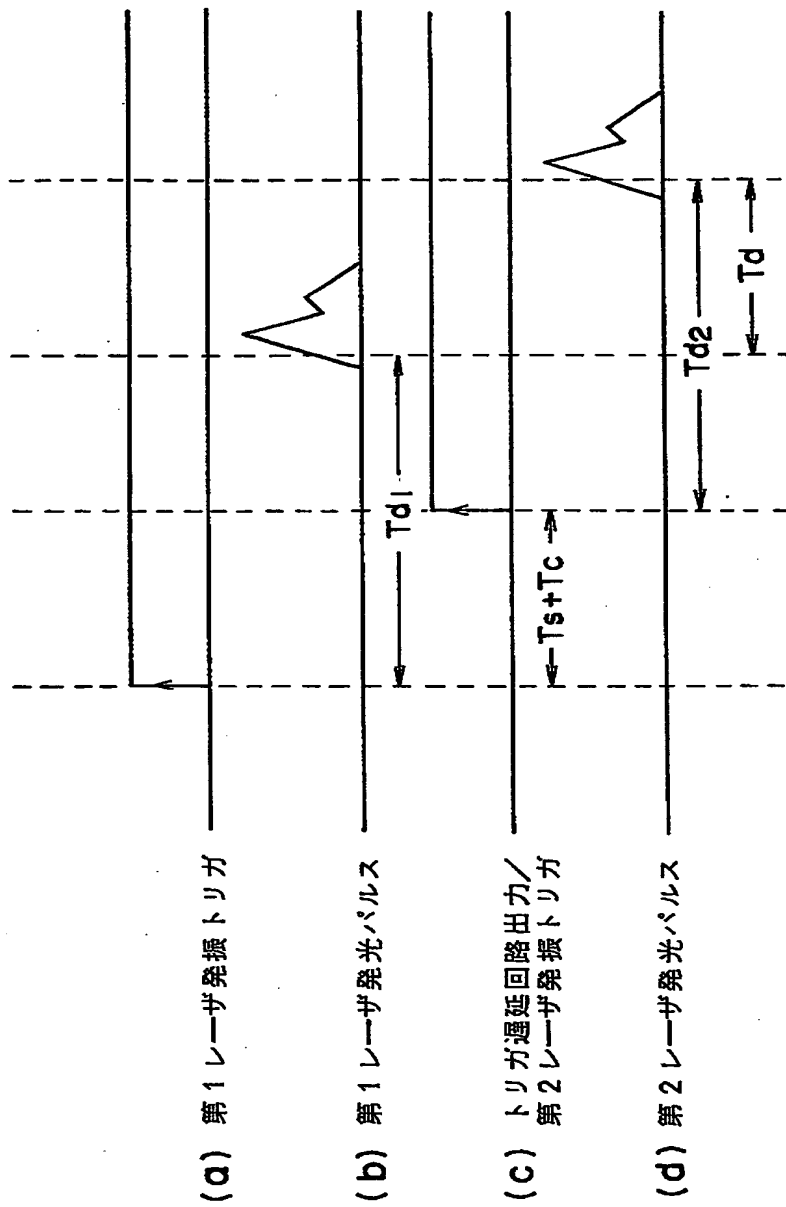


TFT 作製フロー (Si 中にマーク)

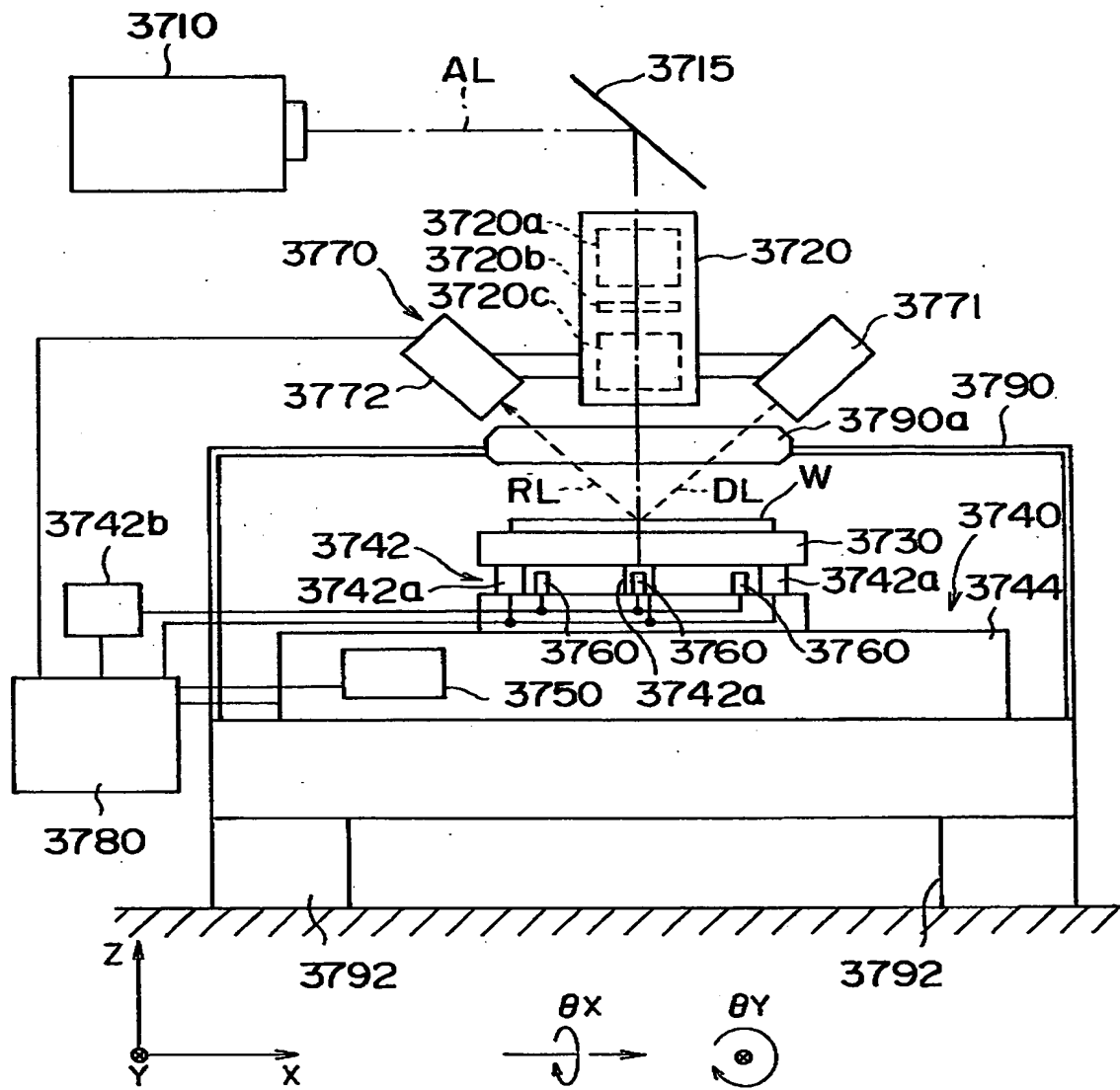
【図 2 1】



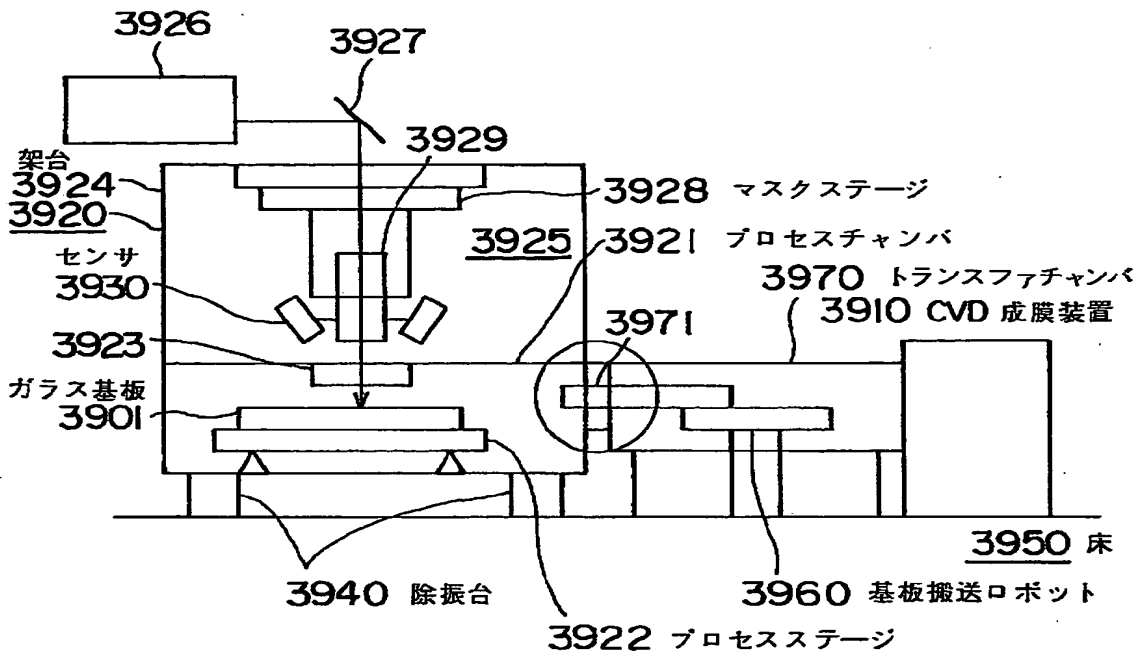
【図 2 2】



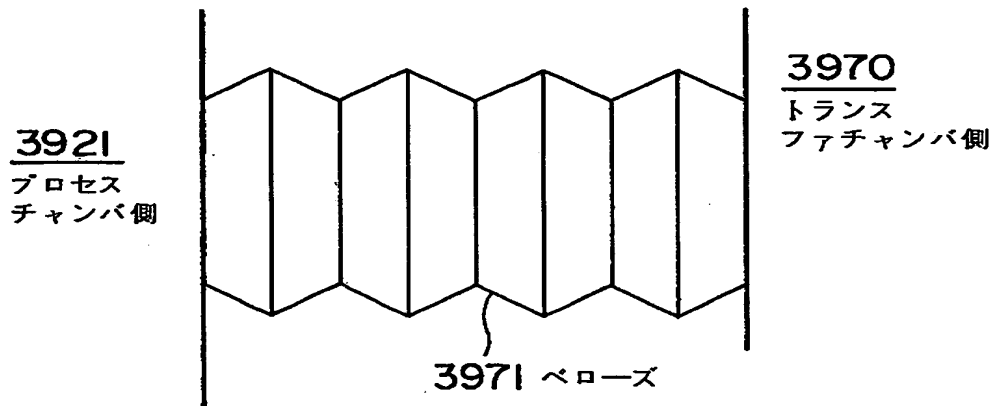
【図 23】



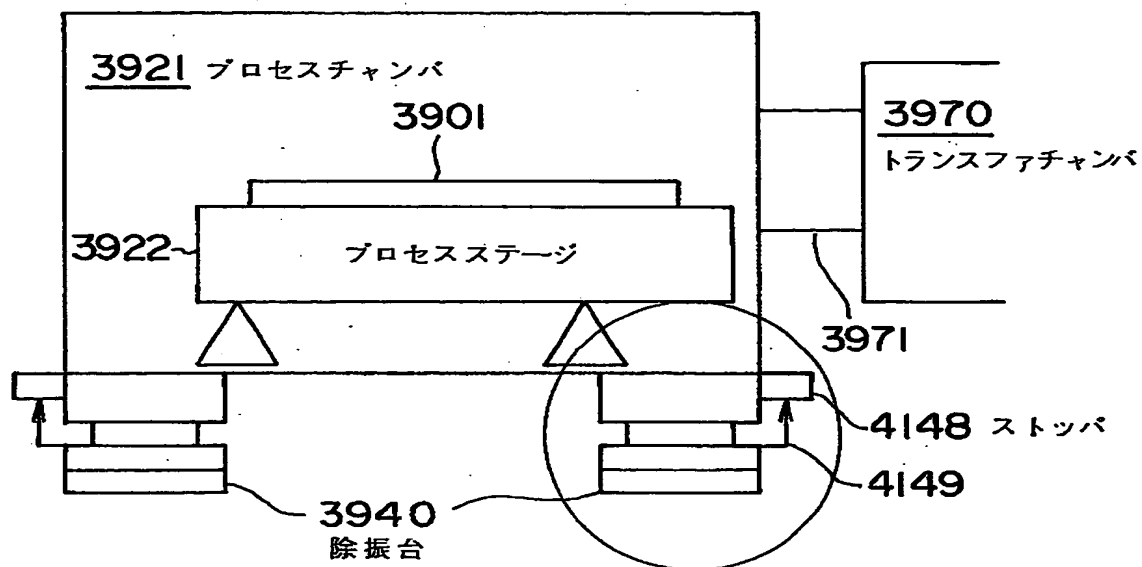
【図 24】



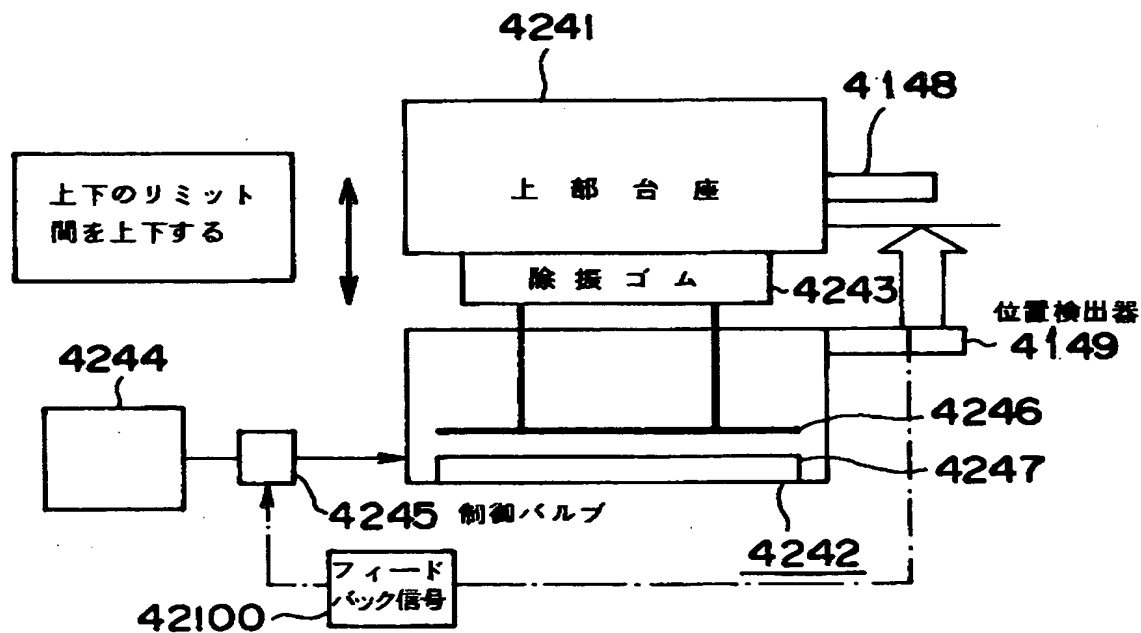
【図 25】



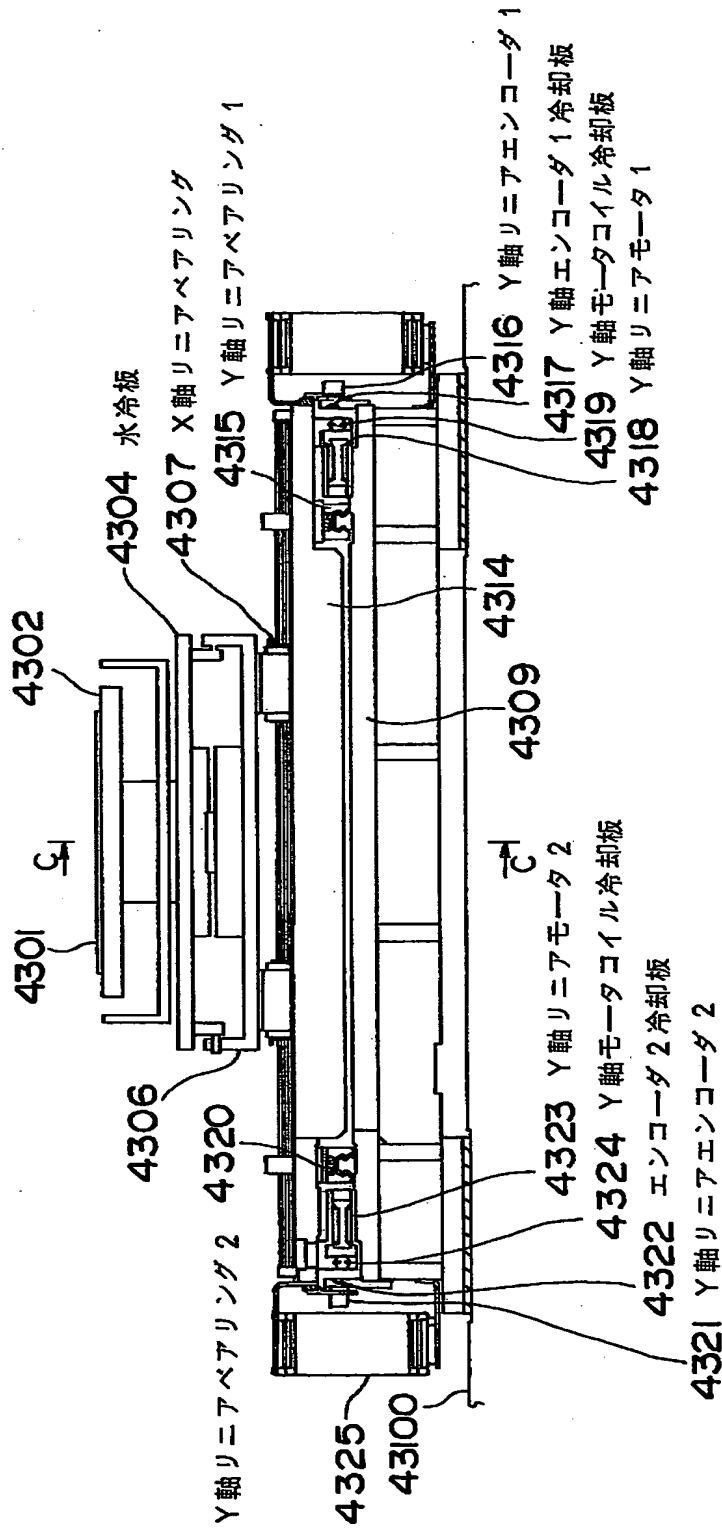
【図26】



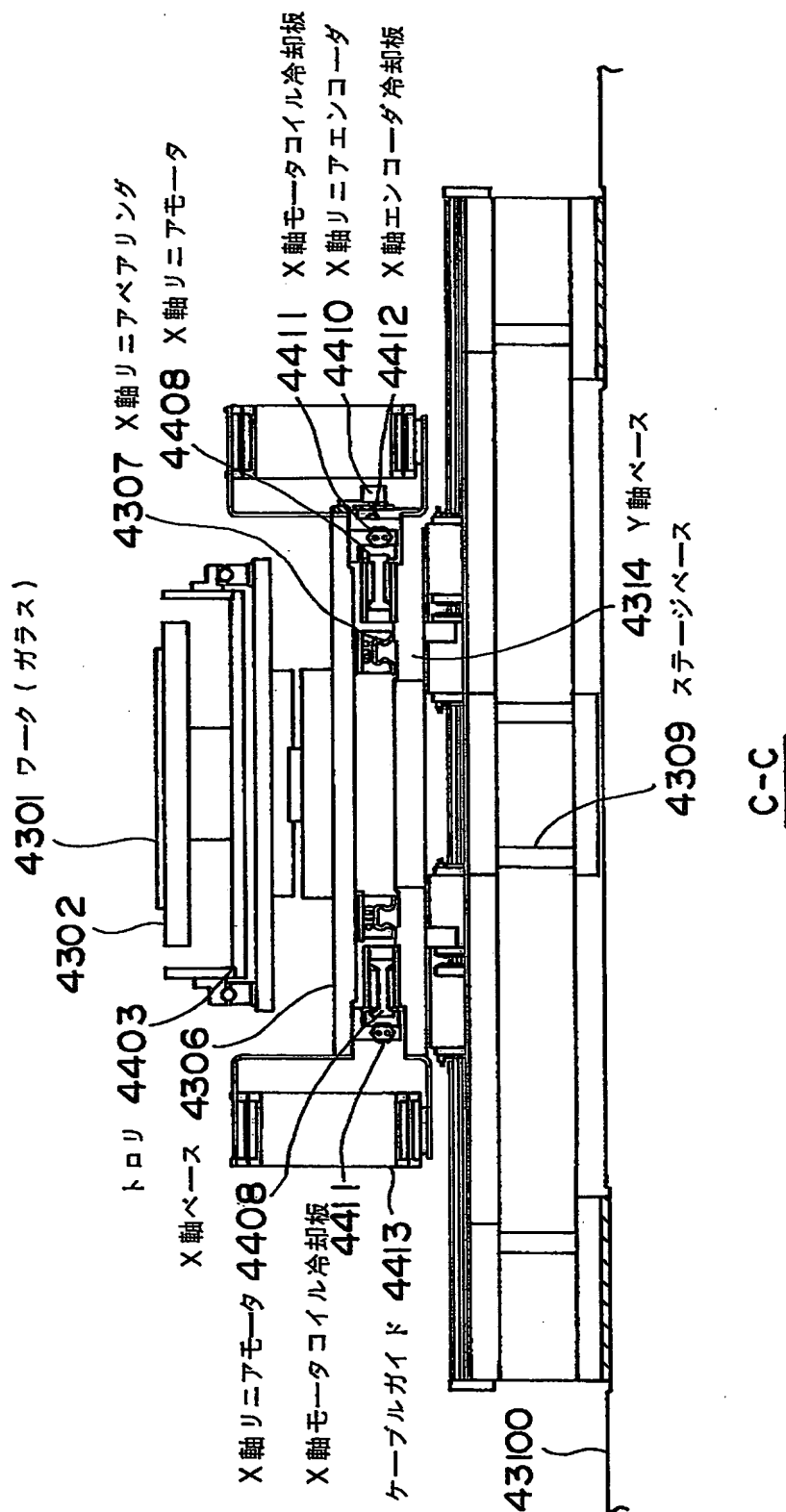
【図27】



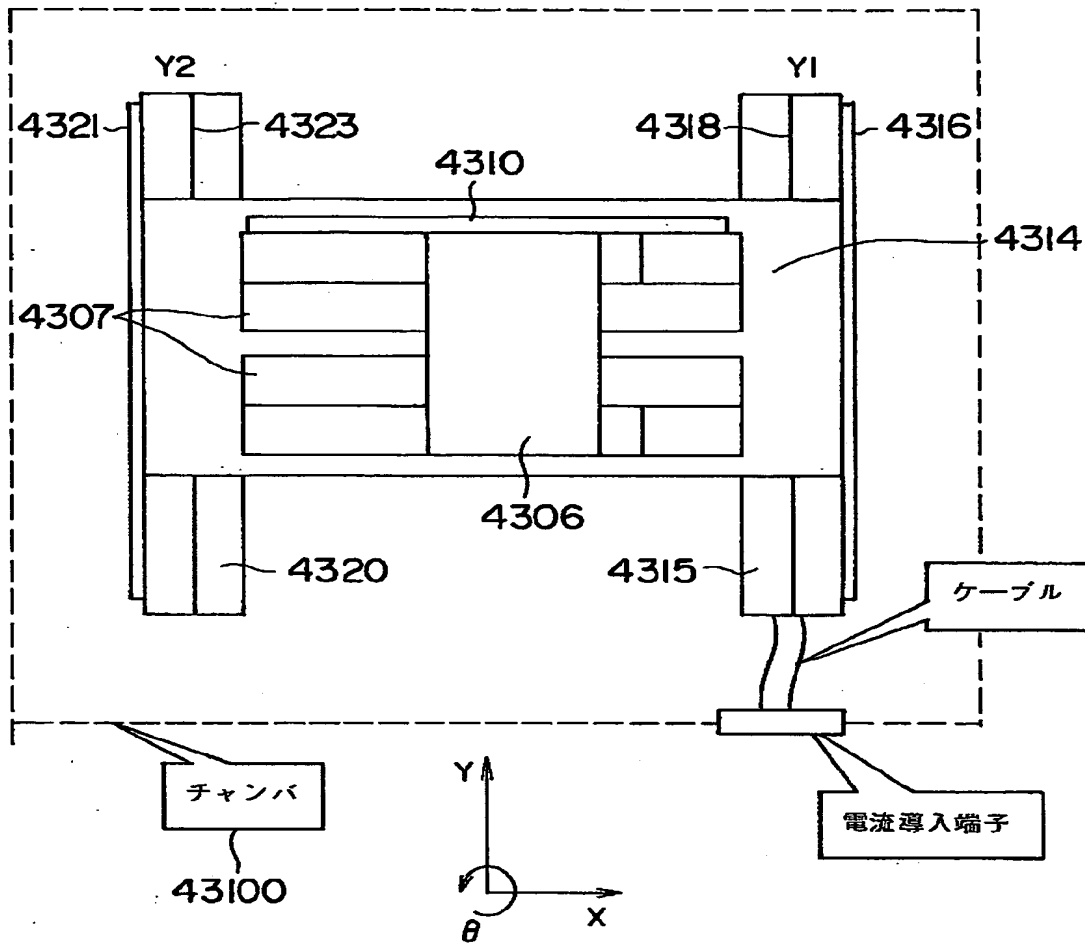
【図 28】



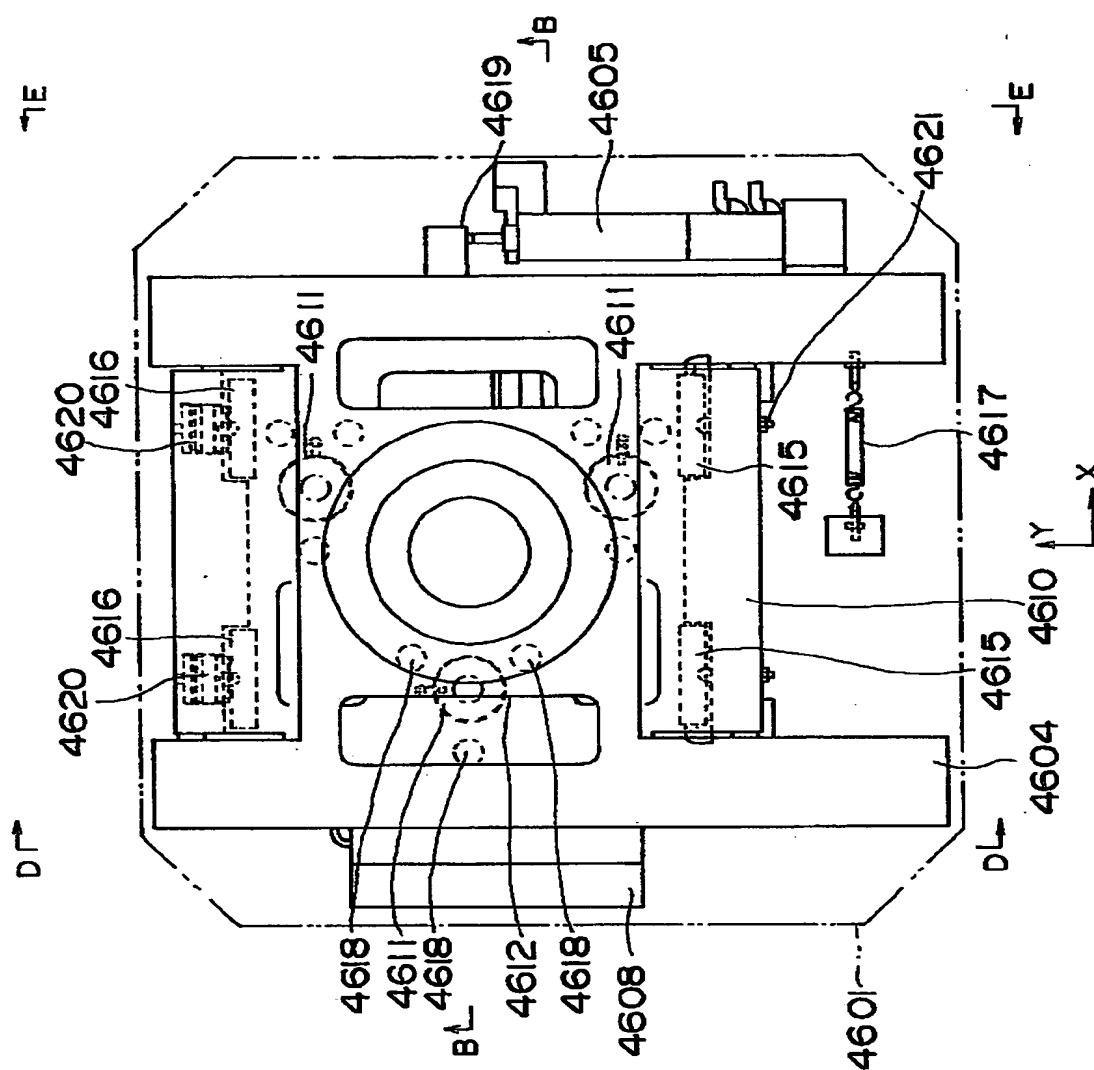
【図 29】



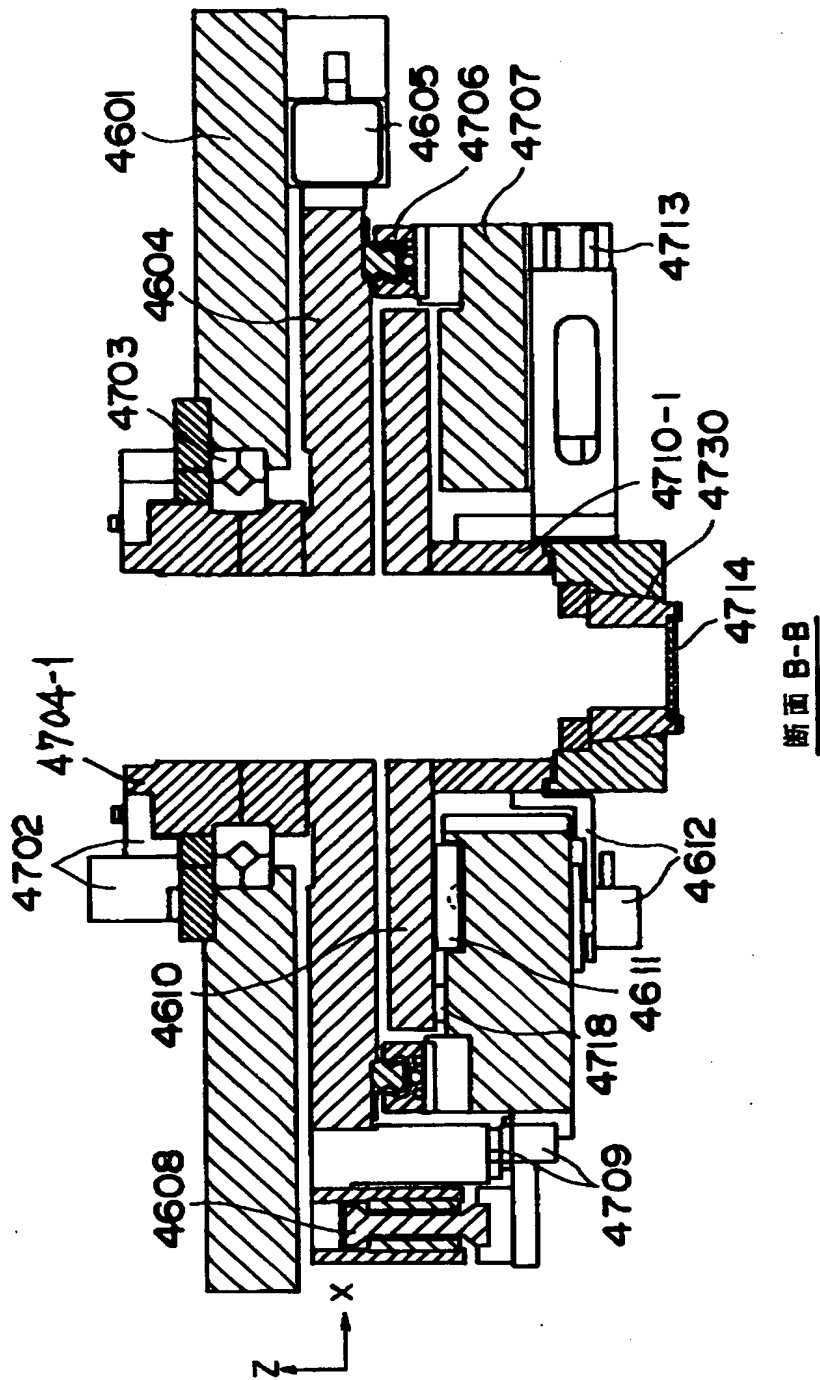
【図 3 0】



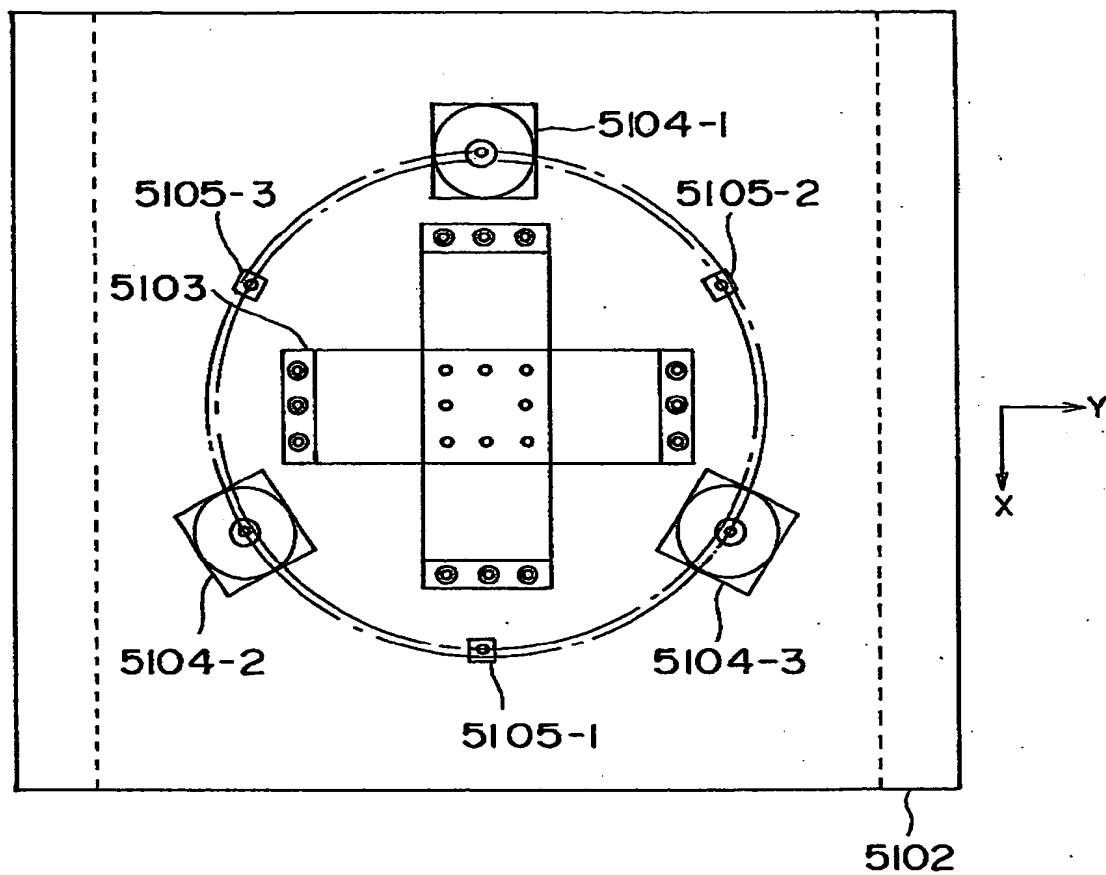
【図 31】



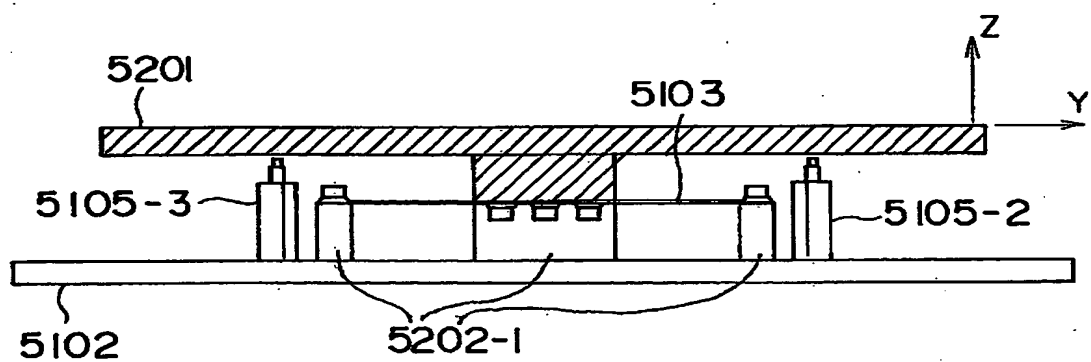
【図 3 2】



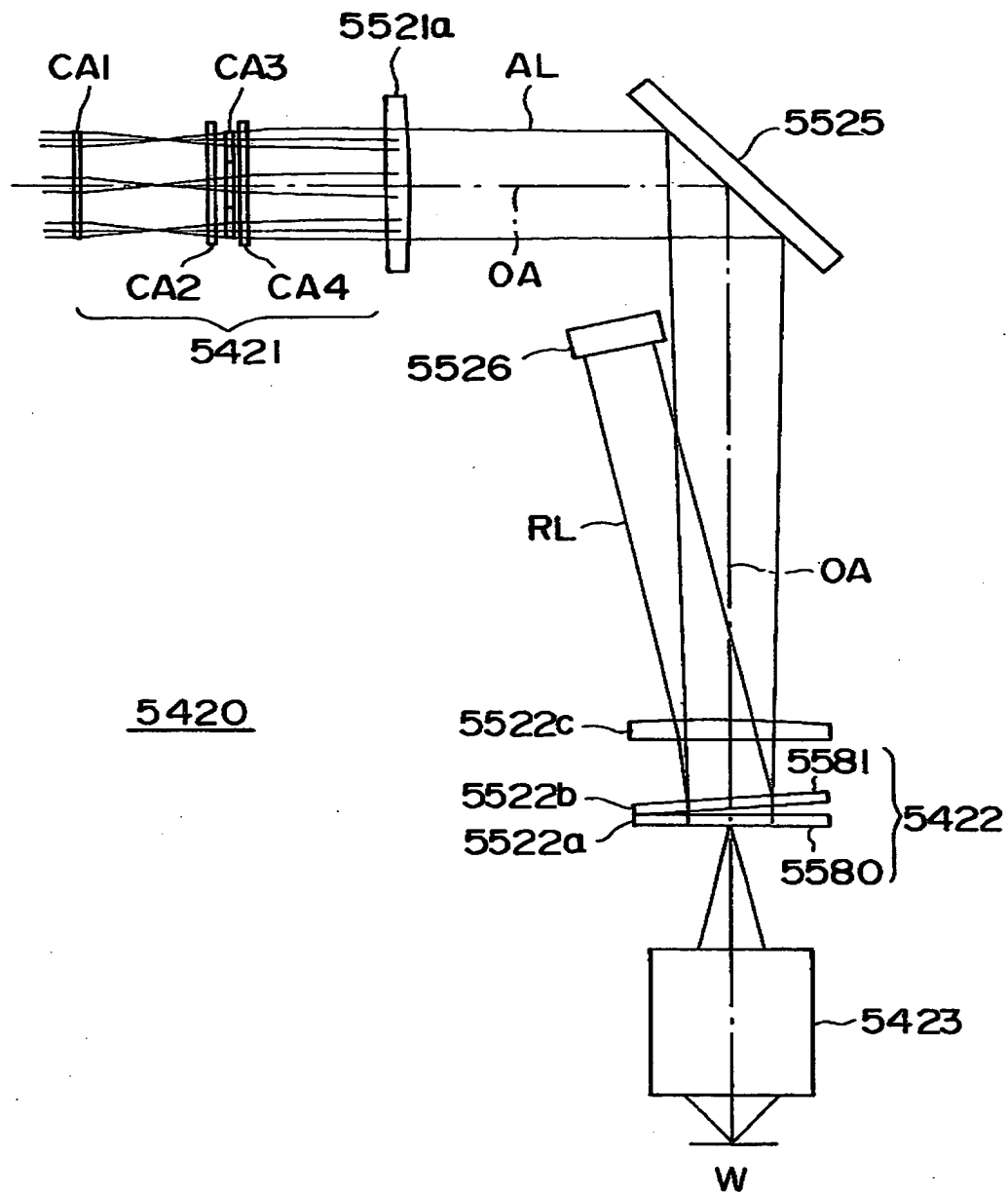
【図 33】



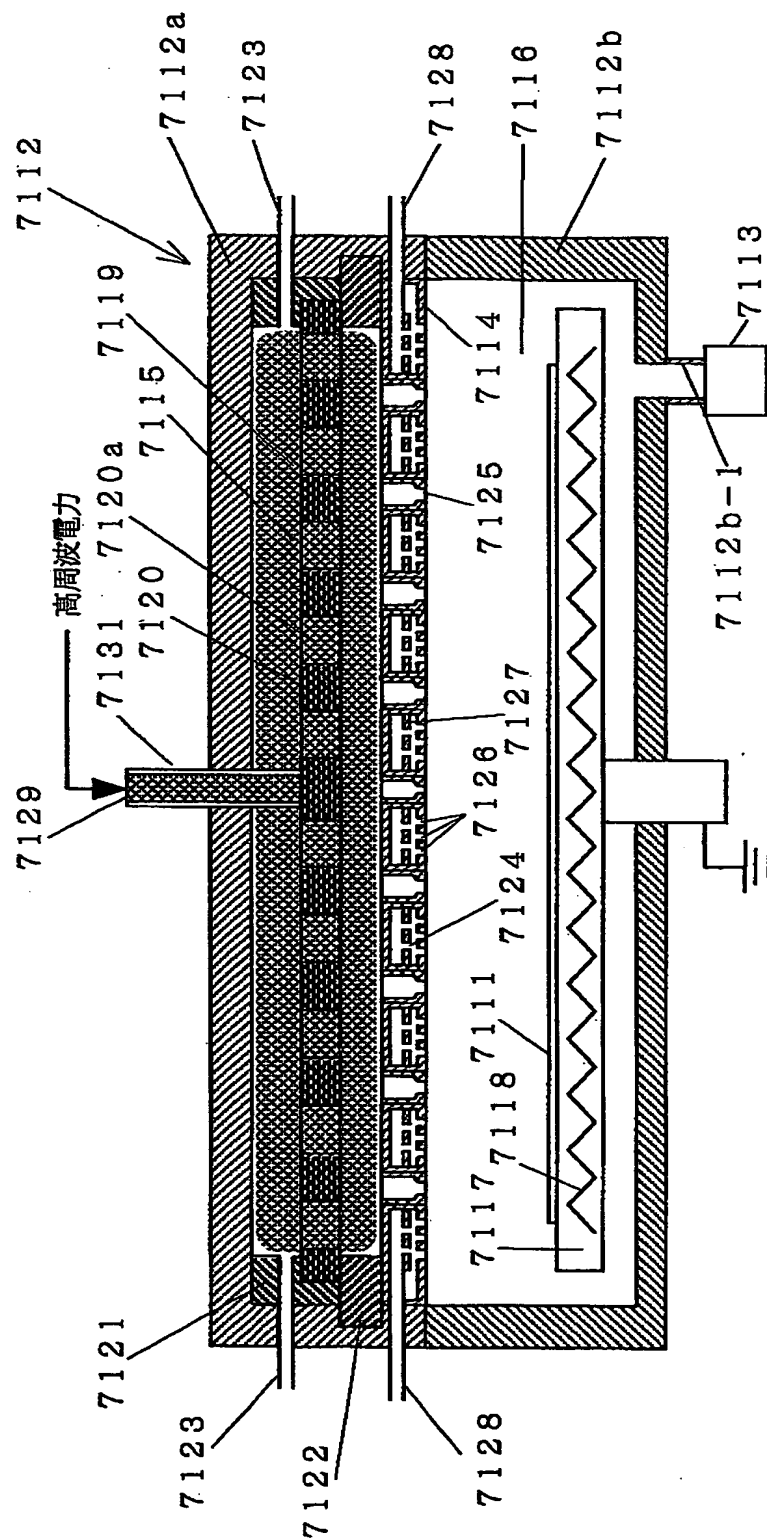
【図 34】



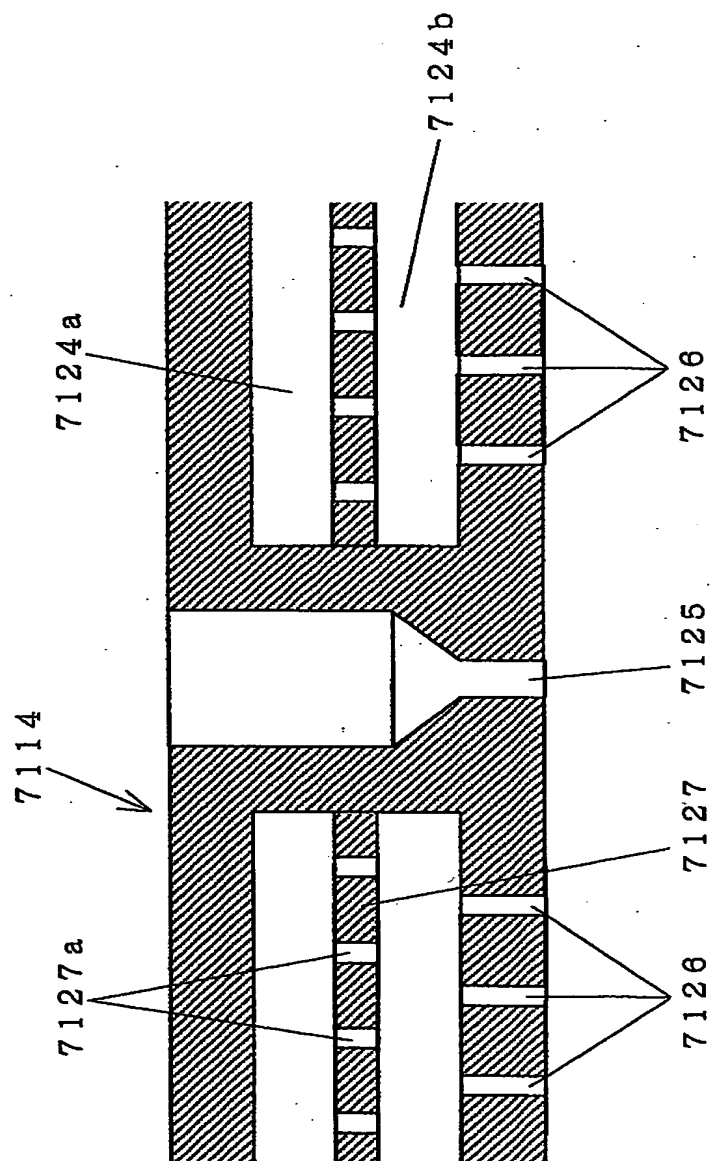
【図 35】



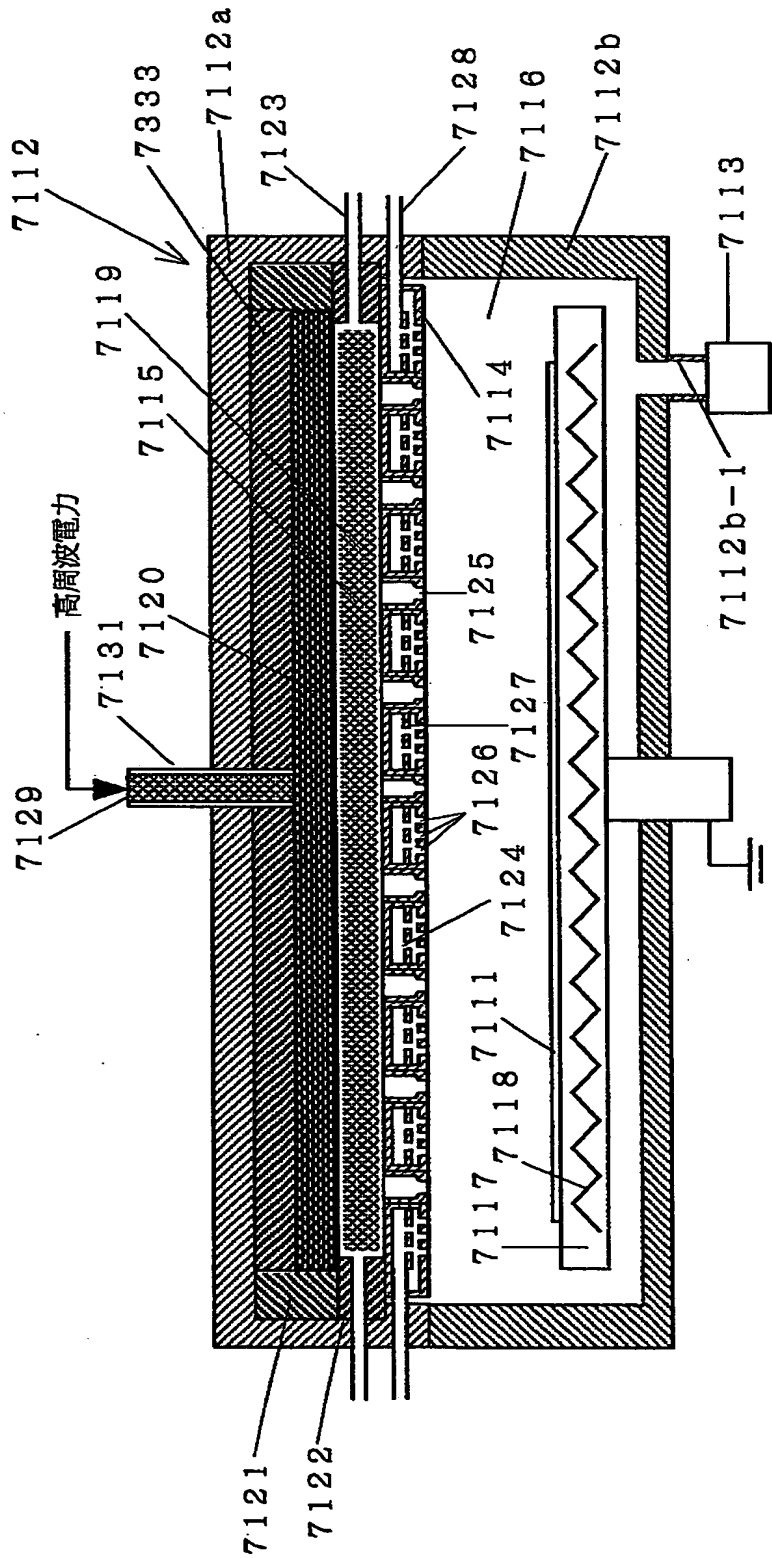
【図 3 6】



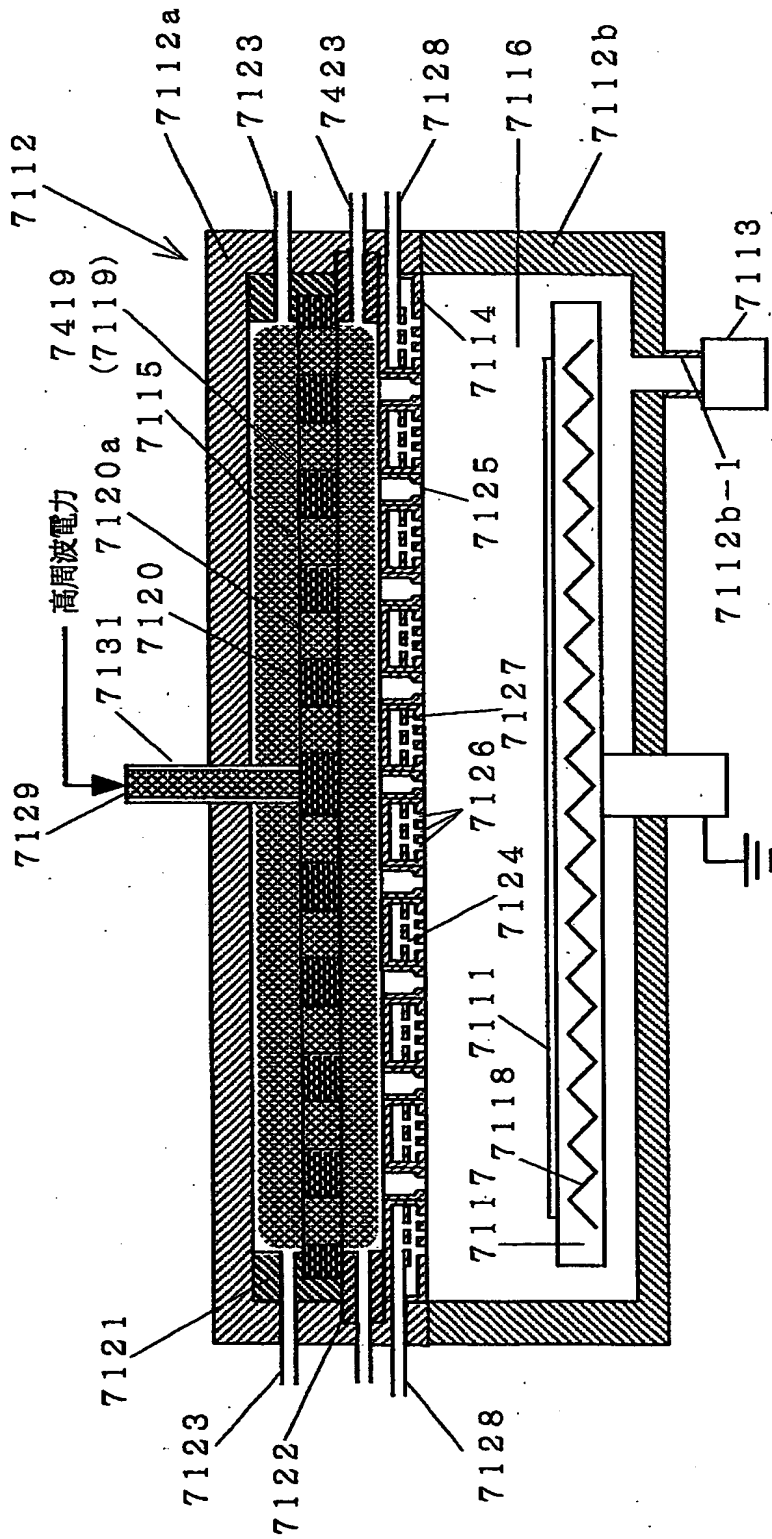
【図 37】



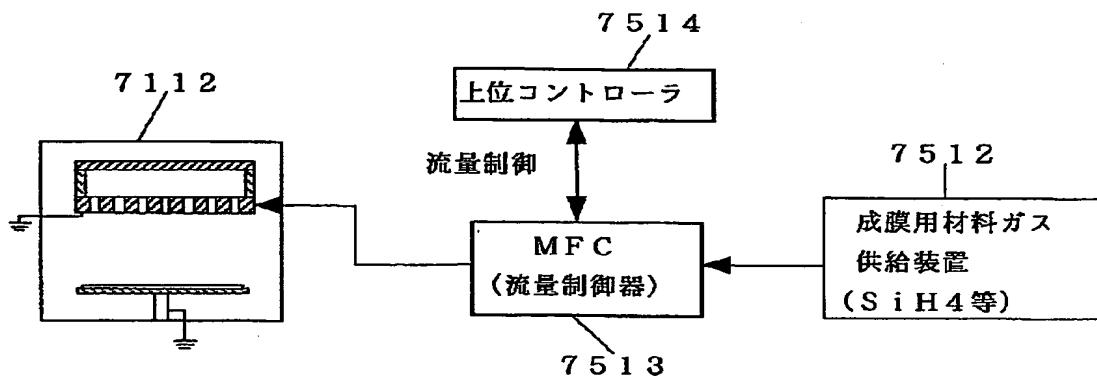
【図 38】



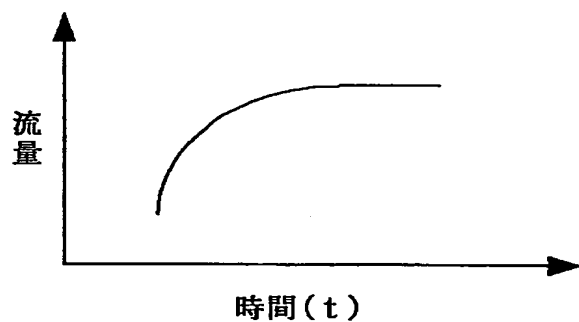
【図 3 9】



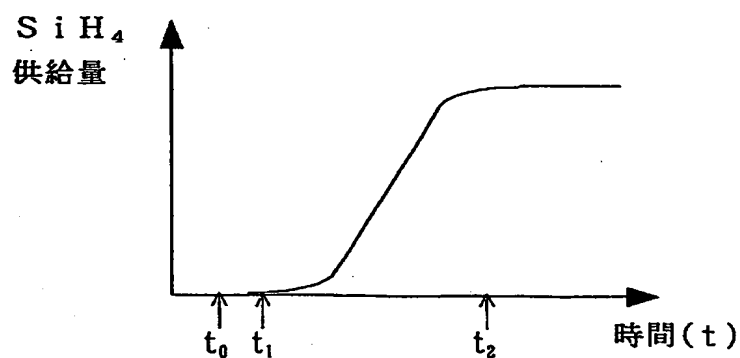
【図 40】



【図 41】

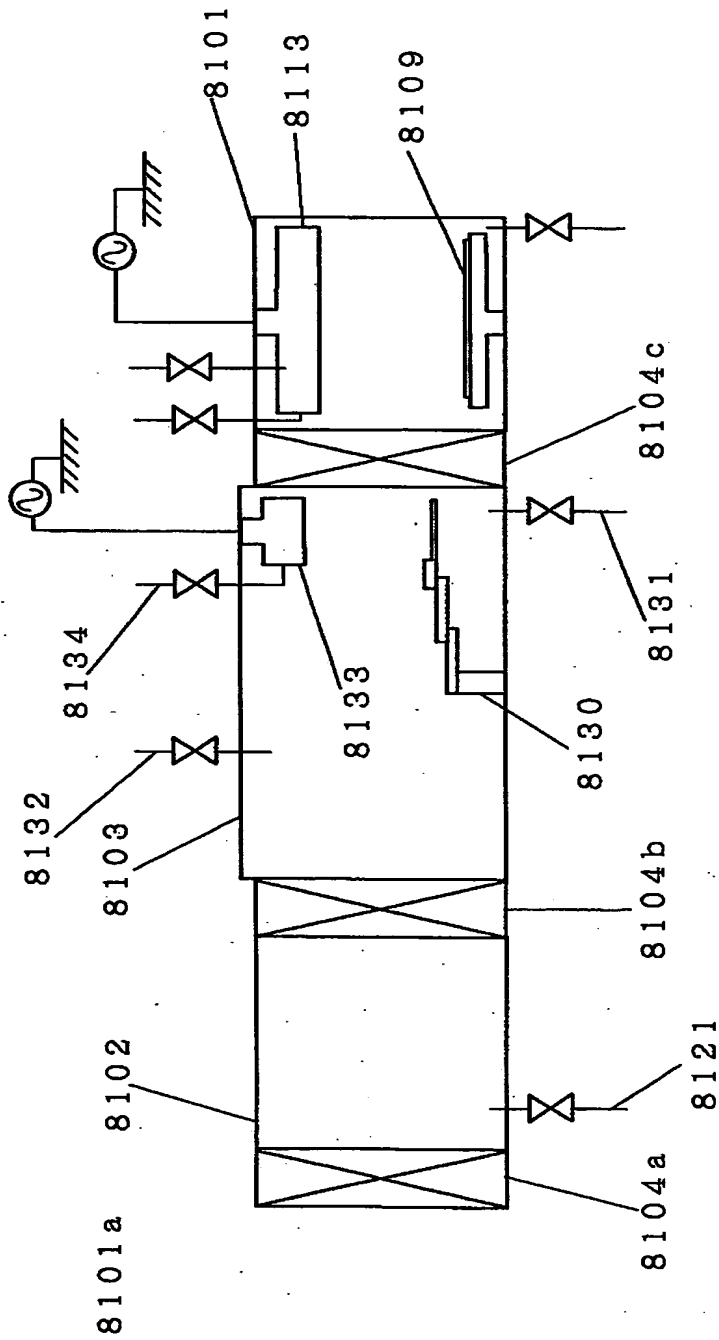


【図 42】

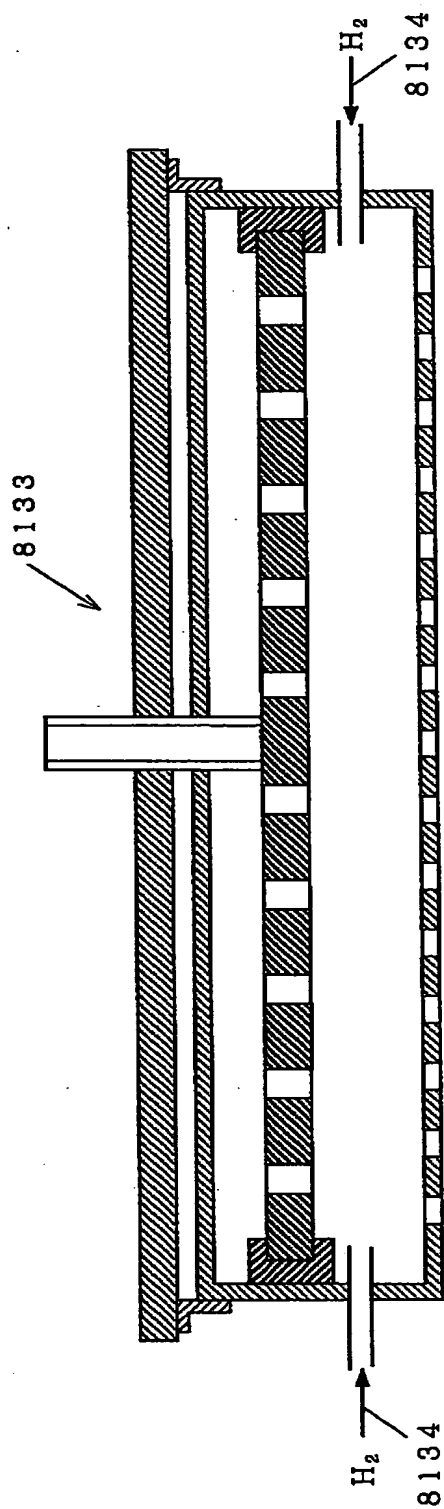


t_0 : O₂ 放電開始
 t_1 : SiH₄ 供給開始
 t_2 : SiH₄ 供給一定値到達

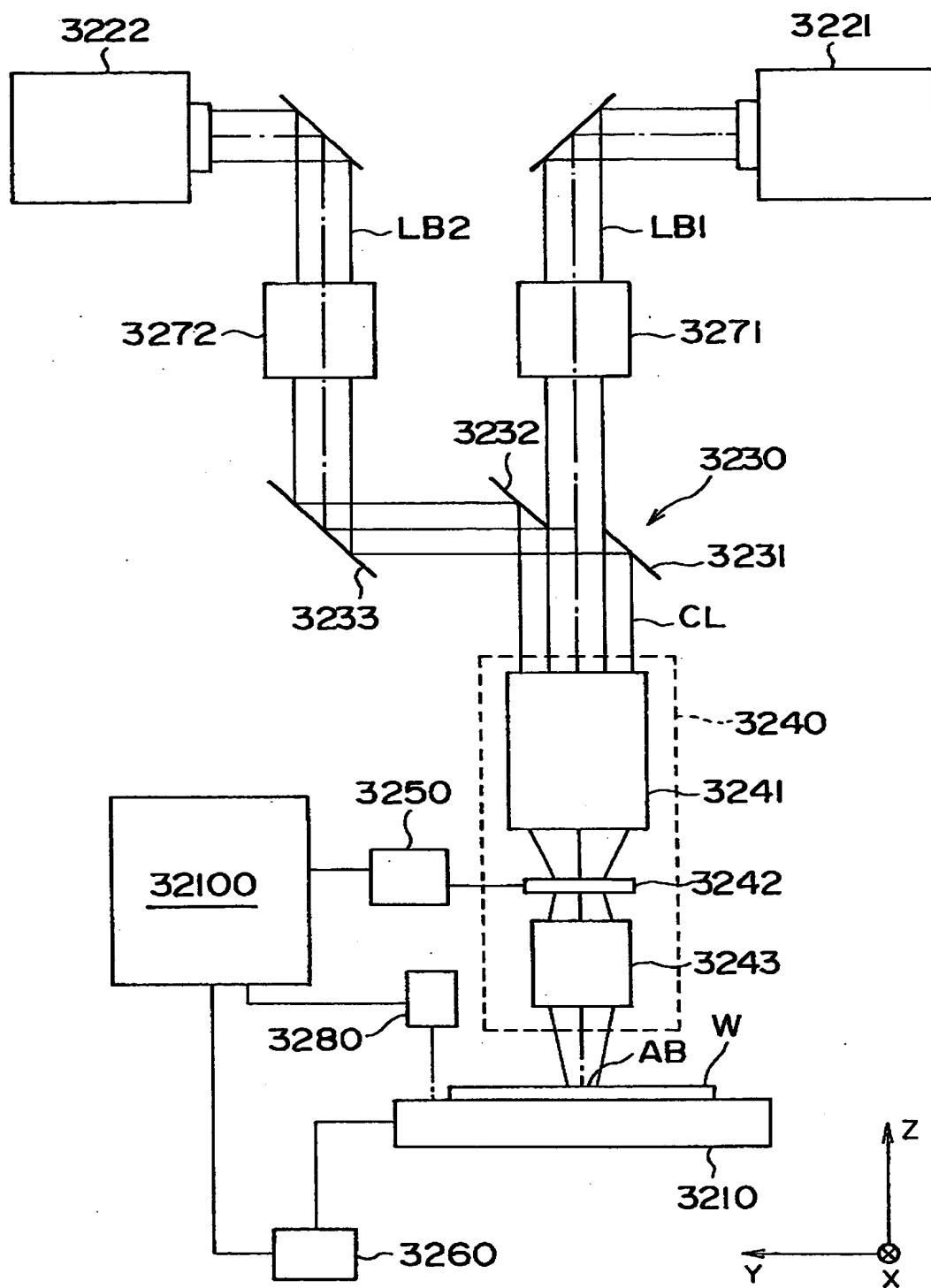
【図43】



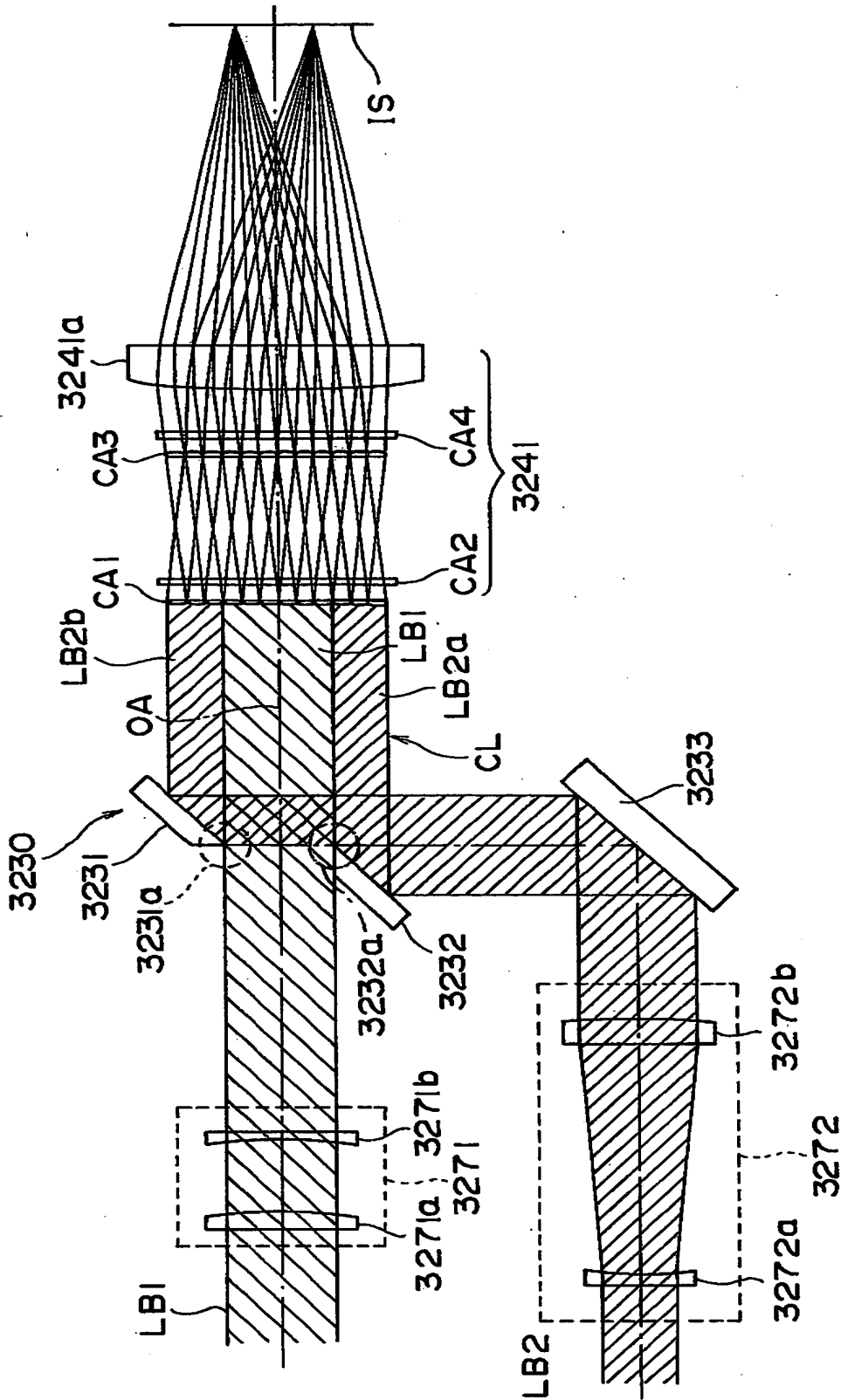
【図 4 4】



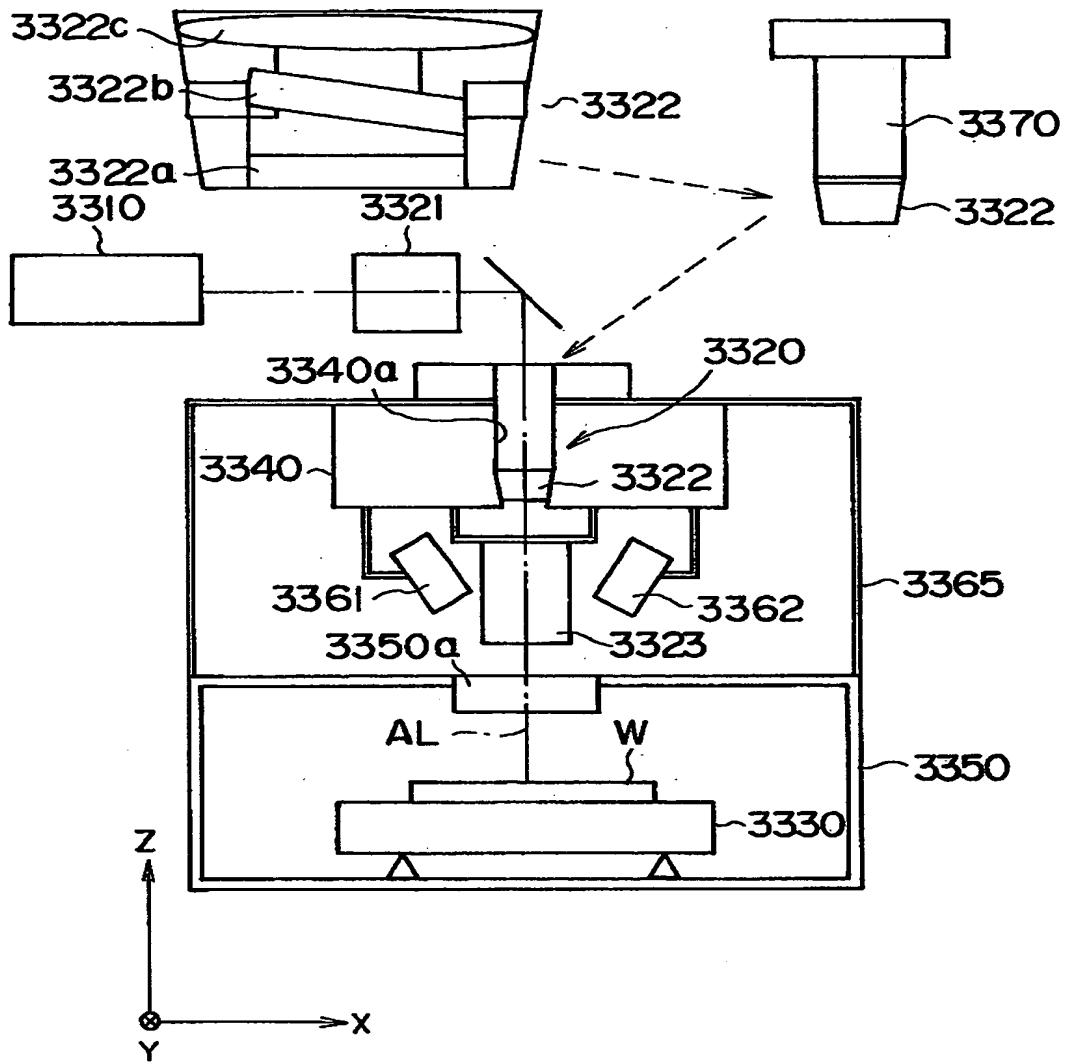
【図 45】



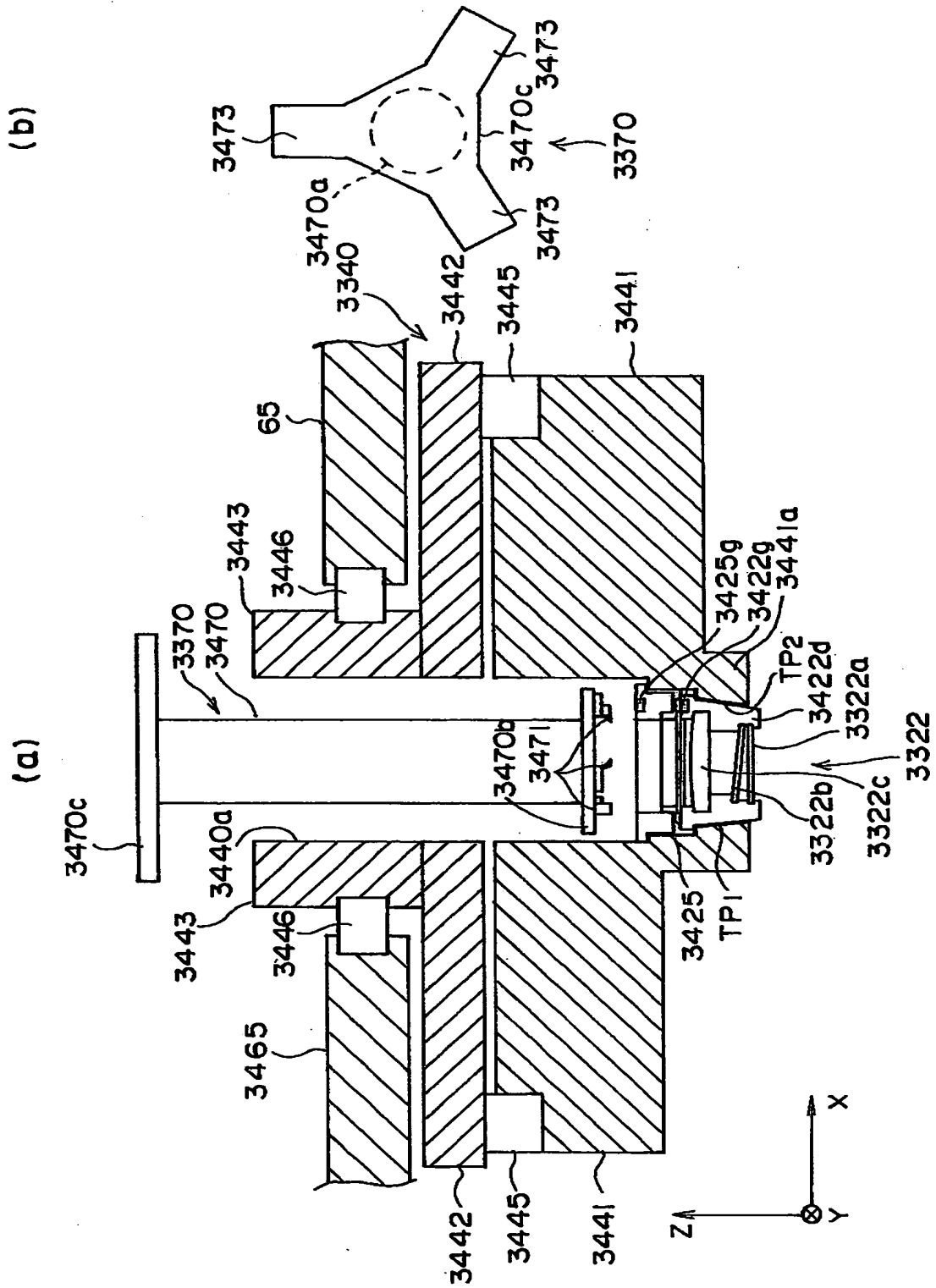
【図 46】



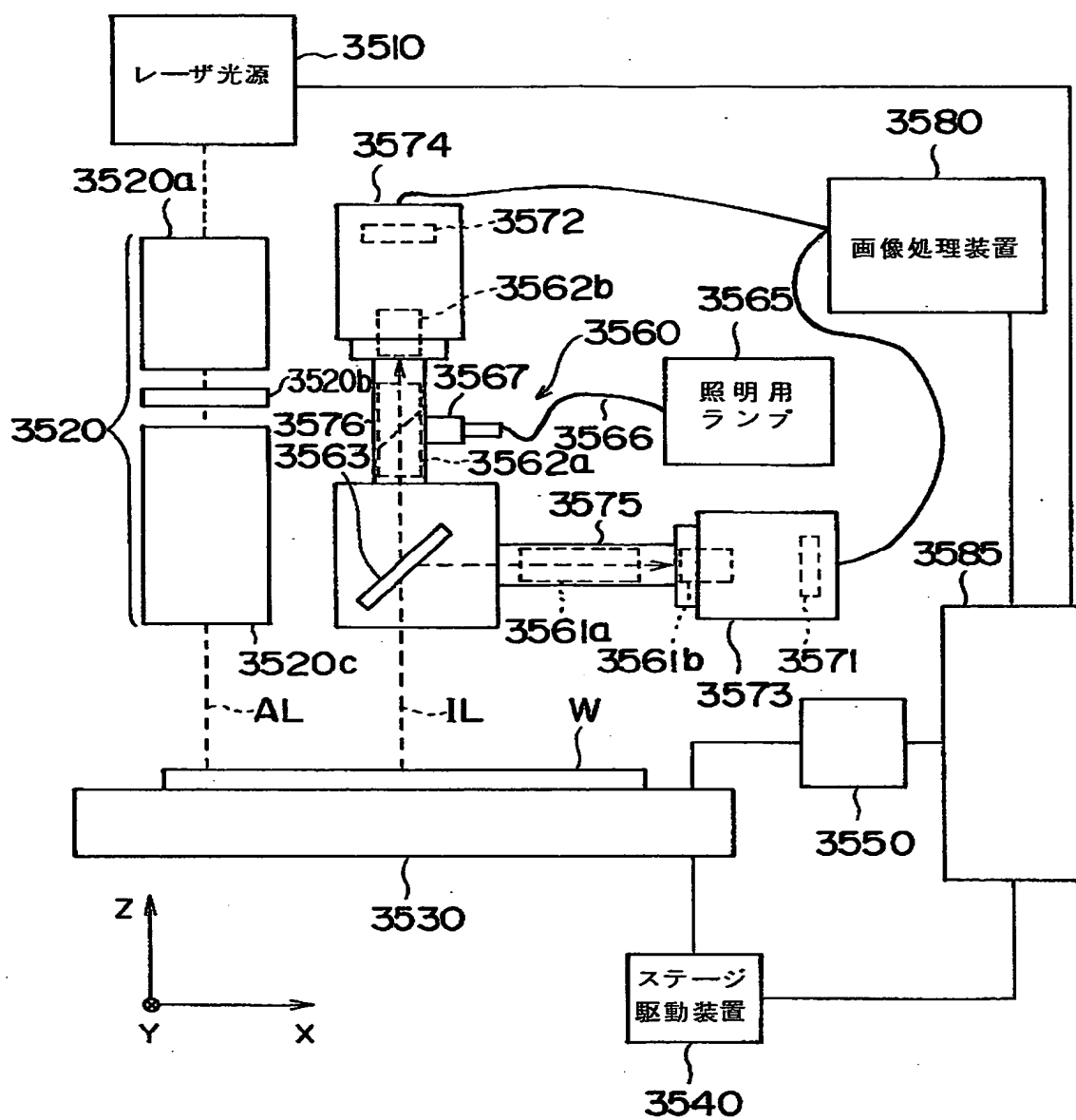
【図 4 7】



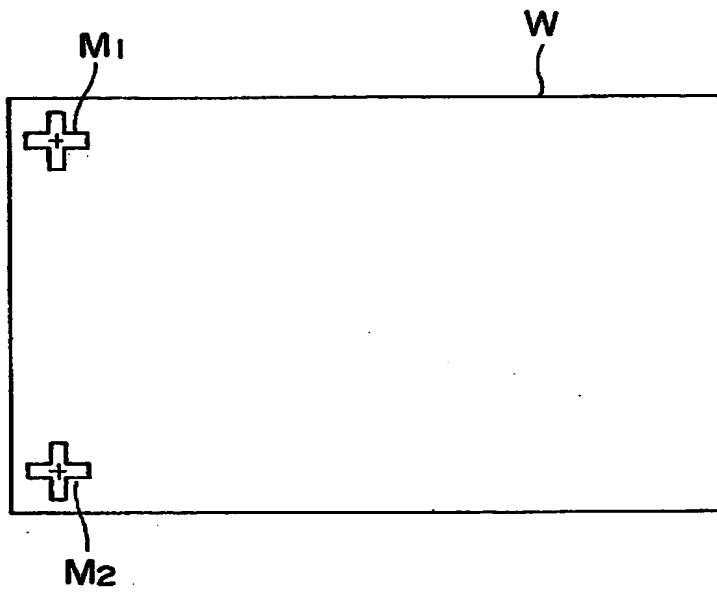
【図 48】



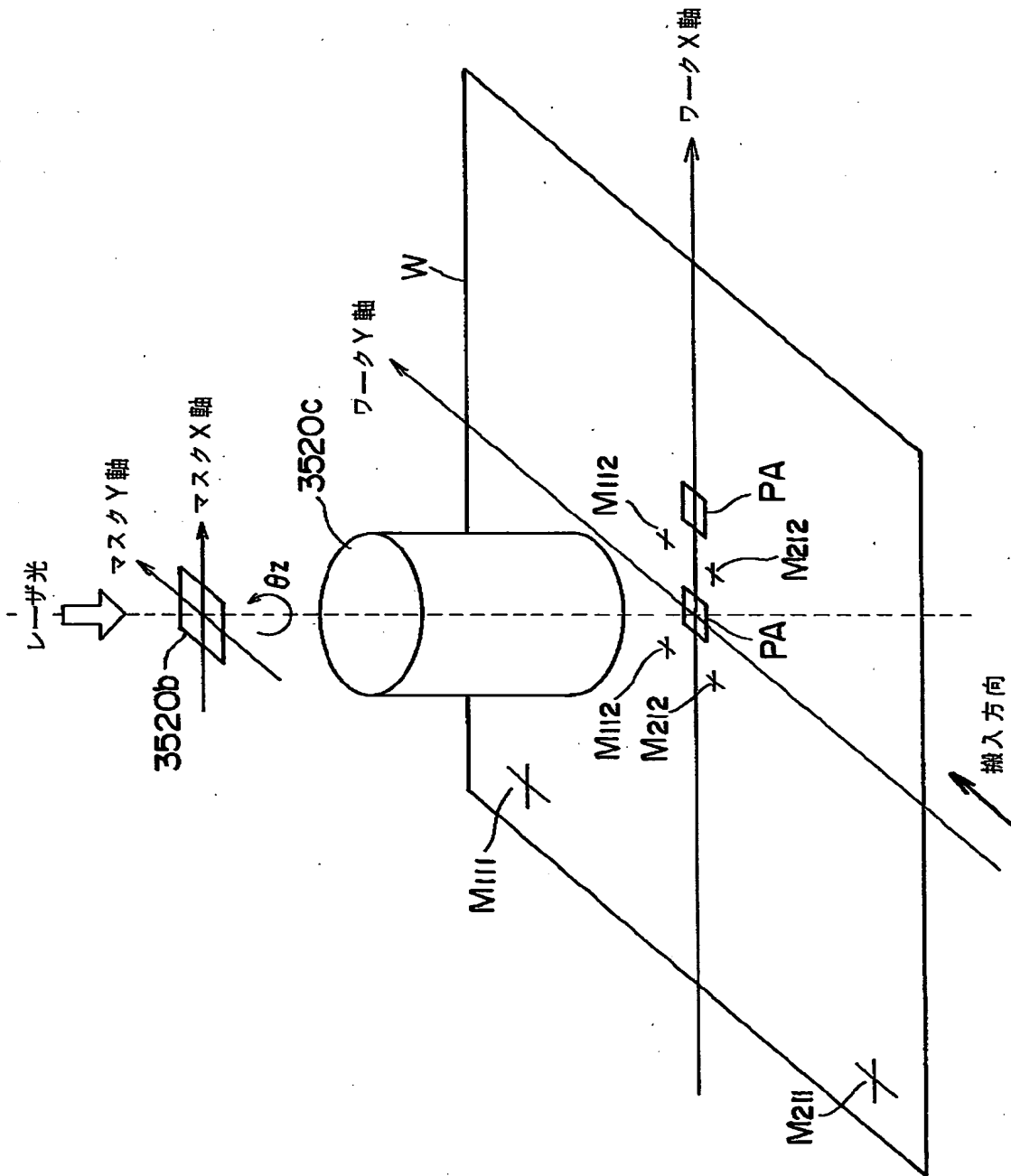
【图 4-9】



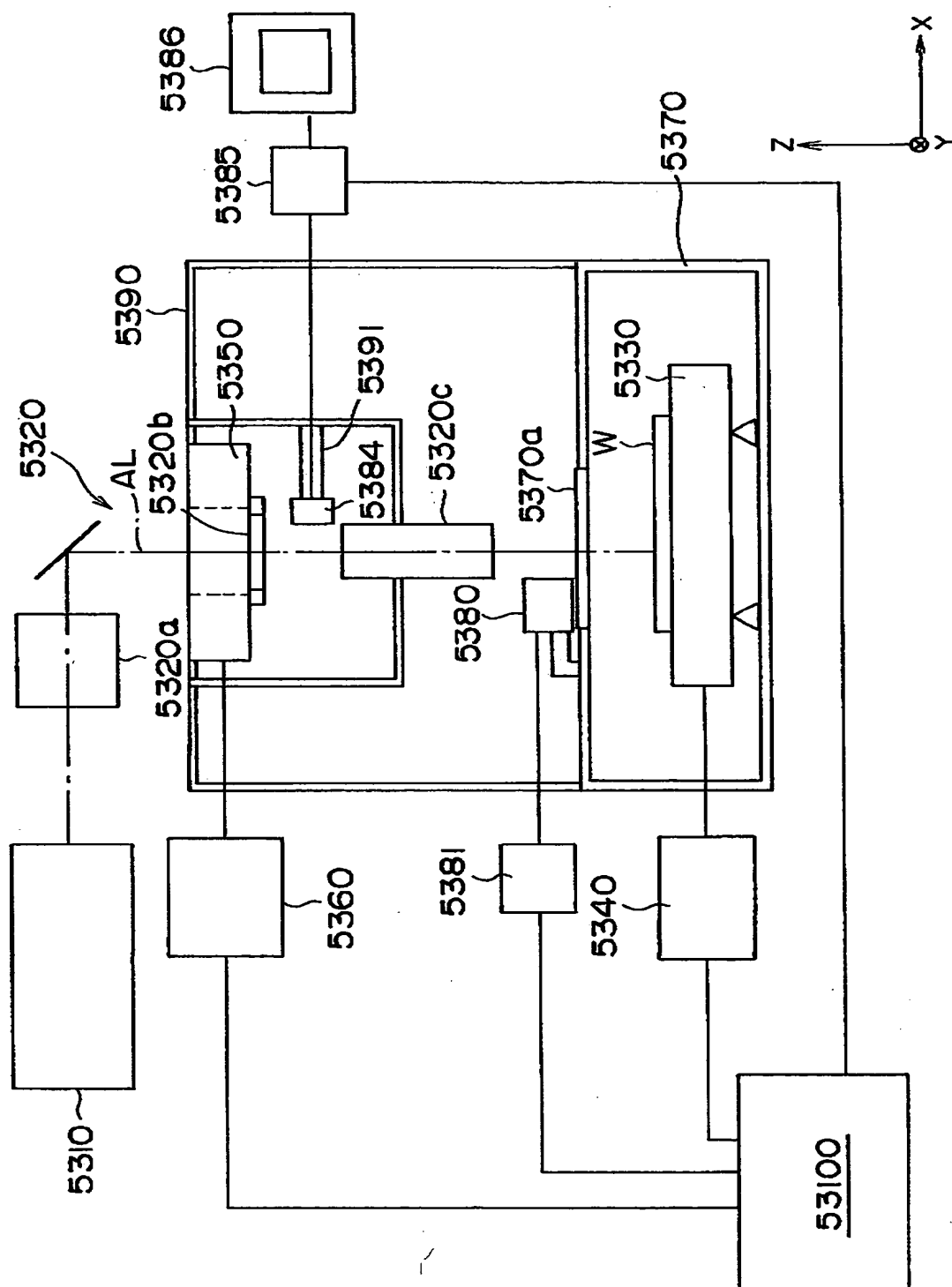
【図 5 0】



【図 51】



【図 52】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 トラップ準位密度の小さいシリコン薄膜を光照射によって形成する技術を提供すると共に、大面積基板上に再現性よくその技術を応用するための技術／装置を提供する。又、それらの良質なシリコン膜上に良質なゲート絶縁膜を形成する手段を提供し、良好な半導体－絶縁膜界面すなわち優れた特性を有する電界効果型トランジスタを製造する装置を提供する。

【解決手段】 光マスク上に形成したパターンをシリコン薄膜上に投影露光して、シリコン薄膜上の所定の領域を改質する半導体薄膜形成装置において、露光されるべき光を、上記光マスク上の所定の領域において、均一化させる機構opt20'を有する。トラップ準位密度が 10^{12} cm^{-2} より低い値を示す結晶化シリコン膜の提供が可能になるとともに低界面準位密度を示すシリコン－絶縁膜界面の提供を可能にした。

【選択図】 図 1 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004237]

1. 変更年月日	1990年 8月29日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都港区芝五丁目7番1号
氏 名	日本電気株式会社

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000002107]

1. 変更年月日 1994年 8月10日

[変更理由] 住所変更

住 所 東京都品川区北品川五丁目9番11号

氏 名 住友重機械工業株式会社

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000227294]

1. 変更年月日	1995年11月24日
[変更理由]	名称変更
住 所	東京都府中市四谷5丁目8番1号
氏 名	アネルバ株式会社